



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ OZUBENÉHO KOLA

DROP FORGING OF GEAR WHEEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL BEZDĚK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MAREK ŠTRONER, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Bezděk

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Zápustkové kování ozubeného kola

v anglickém jazyce:

Drop forging of gear wheel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě literární rešerše aplikovat vhodnou technologii pro výrobu zápustkového výkovku ozubeného kola. S ohledem na cyklicky namáhané ozubené kolo a potřebu zvýšení jeho mechanických vlastností a životnosti, která je funkcí vyšší primární únavové pevnosti uplatnit pochody objemových technologií tváření s větším přetvořením za tepla - zápustkovým kováním v zápustce.

Cíle bakalářské práce:

Zpracování technologického postupu pro zvolenou technologii a daný případ.

Vypracování výkresové dokumentace spolu s technologickými výpočty.

Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam odborné literatury:

1. DVOŘÁK, Milan., GAJDOŠ, František., NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření : plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
2. FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Brno : VUT, 2001. 187s. ISBN 80-214-0294-6.
3. HAŠEK, Vladimír. Kování. 1. vyd. Praha : SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.
4. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno : VUT, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
5. PRIMUS, František. Teorie objemového tváření. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1990. s. 250. ISBN nemá.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Štroner, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 18.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

BEZDĚK Pavel: Zápustkové kování ozubeného kola.

Cílem práce v rámci bakalářského studia oboru Strojírenská technologie je návrh výkovku ozubeného kola zápustkovým kováním. Materiál ozubeného kola je konstrukční ocel 12 050. Vzhledem k velikosti výrobní série 150 000 kusů za rok, byl pro výkovek ozubeného kola zvolen svislý kovací lis LMZ 2500 se jmenovitou tvářecí silou 25 MN. Zápustky jsou vyrobeny ze středně legované oceli 19 552. V závěru práce jsou porovnány náklady na výrobu ozubeného kola s vybranou výrobní technologií.

Klíčová slova: zápustkové kování, ozubené kolo, výkovek, ocel 12 050, svislý kovací lis

ABSTRACT

BEZDĚK Pavel: Drop forging of gear wheel.

Objective of this bachelor thesis is design of forging of gear manufactured by die forging. Material of gear is steel 12. According to number of forgings per year, forging of gear will be done on vertical forging press LMZ 2500 with nominal forming power of 25 MN. Dies are made of middle doped steel 19 552. In conclusion, costs of producing of gear forging with selected manufacturing technology are evaluated.

Key words: drop forging, gear wheel, forging, 12 050 steel, vertical forging press

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BEZDĚK, Pavel: *Zápustkové kování ozubeného kola*. Brno, 2012. 56 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Marek Štroner, Ph.D. Dostupný z WWW: <ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace>.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Zápustkové kování ozubeného kola** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

25.5.2012

.....
Datum

Pavel Bezděk

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Marku Štronerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	5
PROHLÁŠENÍ	6
PODĚKOVÁNÍ.....	7
OBSAH	8
ÚVOD	10
1 Teorie objemového tváření	11
1.1 Volné kování	11
1.2 Zápustkové kování	14
1.2.1 Tvářecí stroje	14
1.2.2 Volba tvářecího stroje	15
2 Zásady konstrukce výkovku a jeho návrh.....	16
2.1 Volba dělicí rovina výkovku.....	16
2.2 Klasifikace a roztřídění výkovků dle složitosti	16
2.3 Stanovení přídavek.....	19
2.3.1 Přídavky na obrábění	19
2.3.2 Přídavky technologické.....	20
2.4 Tolerance rozměrů a tvarů	23
3 Zpracování polotovaru před zápustkovým kovááním	26
3.1 Dělení polotovaru.....	26
3.2 Ohřev polotovaru před tvářením	27
3.2.1 Opal.....	28
4 Kovací zápustky pro lis	29
4.1 Předkovací zápustky	29
4.2 Dokončovací zápustky	29
4.2.1 Tvar a rozměr výronkové drážky.....	29
4.3 Vyhazovače výkovků ze zápustky	32
5 Příprava kovacích zápustek	34
5.1 Předehřátí zápustek	34
5.2 Chlazení zápustek.....	34
5.3 Maziva pro zápustky	34
6 Dokončovací operace výkovků	36
6.1 Ostřihování výkovků.....	36
6.2 Rovnání a kalibrování výkovků	36

6.3	Tepelné zpracování výkovků	36
7	Návrh technologie výroby ozubeného kola.....	38
7.1	Zařazení výkovku dle složitosti tvaru	38
7.2	Návrh výkovku.....	38
7.2.1	Volba výronkové drážky.....	39
7.3	Výchozí polotovar	40
7.3.1	Určení objemu výkovku	40
7.3.2	Rozměry polotovaru	41
7.3.3	Ohřívací zařízení	42
7.4	Konstrukce zápustek	42
7.4.1	Materiál zápustek	42
7.4.2	Rozměry zápustek	42
7.5	Výpočet tvářecí síly.....	43
7.6	Velikost kovací síly.....	44
7.6.1	Výpočet kovací síly podle Rebelského	44
7.6.2	Výpočet síly podle Tomlenova a ČSN 22 8306	44
7.7	Volba svislého kovacího lisu	48
7.8	Výpočet ostříhovací síly.....	48
7.8.1	Volba ostříhovacího lisu	49
7.9	Technologický postup zápustkového kování	50
8	Technicko – ekonomické zhodnocení.....	51
8.1	Náklady na výrobu obráběním:	51
8.2	Náklady na výrobu zápustkovým kovááním.....	53
9	Závěr	56

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SEZNAM PŘÍLOH

ÚVOD [1] [3] [6] [8]

Kování je beztržkové tváření kovů a slitin pomocí tvářecích nástrojů. Hlavní podmínkou při tváření je vznik plastické deformace, ke které dochází při dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál. Tím získává kovový materiál požadovaný tvar, aniž by došlo k porušení koherence materiálu. To kovu dává výhody, že tolik neztrácí pevnost a naopak narůstá houževnatost. Dalšími výhodami tváření je vysoká výrobní produktivita, vysoké využití materiálu.

V této práci bude řešen návrh výroby ozubeného kola (obr. 1) z Tatry T815, kde slouží k pohonu olejového čerpadla. Výrobní série činí $150\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$ a proto také bude pro výrobu zvolena technologie zápusťkového kování.

Zápusťkové kování je objemové tváření při kovací teplotě v dutině kovacího nástroje (zápusťky). Kovací zápusťka se skládá ze dvou částí: horní (pohyblivá) a dolní (pevná).



Obr.1 Ozubené kolo z tatry T815.

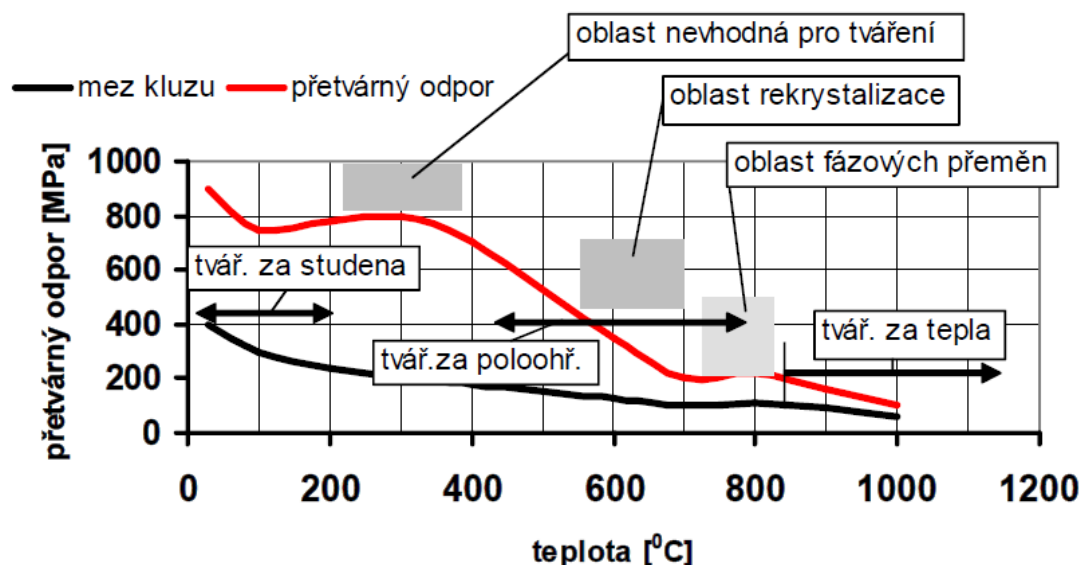
1 TEORIE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ [7] [9] [10] [11] [12]

Technologie objemové tváření se dělí podle vztahu tvářeného materiálu k rekrytalizační teplotě (ta má hodnotu přibližně $0,4 \cdot T_{\text{tav}}$). Z toho vyplývá, že rozlišujeme tváření pod rekrytalizační teplotou (tzv. tváření za studena) a nad rekrytalizační teplotou (tzv. tváření za tepla).

Tváření za studena probíhá při teplotě – pod hodnotou 30% teploty tání daného materiálu. Při takto nízké teplotě dochází při tváření ke zpevňování materiálu a vytváří se **textura** tj. ve směru působící síly se prodlužují zrna. Díky zpevnění materiálu se zvyšuje mez pevnosti a mez kluzu a klesá tažnost. Výhodami tváření za studena je vysoká přesnost, kvalitní povrch a zlepšuje některé mechanické vlastnosti. Nevýhodami jsou velké tvářecí síly, nerovnoměrné zpevňování a omezená tvárnost materiálu.

Tváření za tepla probíhá při teplotě – nad hodnotou 70% teploty tání daného materiálu. Oproti tváření za studena stačí k tváření za tepla až desetkrát menší síla, jelikož se materiál nezpevňuje. Dělí se na kování volné - na kovádku a zápusťkové - ve tvarových dutinách (zápusťkách). Výhodami tváření za tepla jsou nižší tvářecí síly, nižší opotřebení nástrojů. Nevýhodami je horší kvalita povrchu (zkujněný povrch) a nižší přesnost.

Závislost mechanických vlastností ocelí na teplotě je znázorněna na obr. 2.



Obr. 2 Rozdělení tvářecích procesů podle teplot [10]

1.1 Volné kování [1] [4] [8] [9]

Technologie volného kování se používá při výrobě volně kovaných výkovků do hmotnosti až 300 t. Tato technologie se používá v kusové, sériové a i v hromadné výrobě. Požadovaného tvaru výkovku se dosáhne kombinací základních kovářských operací, jako jsou pěchování, prodlužování, osazování, prosazování, děrování, ohýbání, sekání a zakrucování. Používají se různé kovářské nástroje - kovádky, kovátky, strojní sekáčky, trny, kleště, aj. Lze kovat jen výkovky tvarově jednoduché s velkými přídávky na obrábění.

Volné kování se používá především pro výrobu velkých strojních dílů s vysokou kvalitou a mechanickými vlastnostmi, které se nedají zhotovit jiným způsobem.

Volné kování dělíme na kování ruční a strojní. Ručně se kove na kováčině, ale v dnešní době už tento způsob nemá moc velký význam. Jediné jeho využití je při opravách, v zámečnictví a hlavně při uměleckém kování. Strojně se kove na pneumatických, pružinových, parovzdušných nebo vzdušných bucharech a v hutích se využívají hydraulické lis.

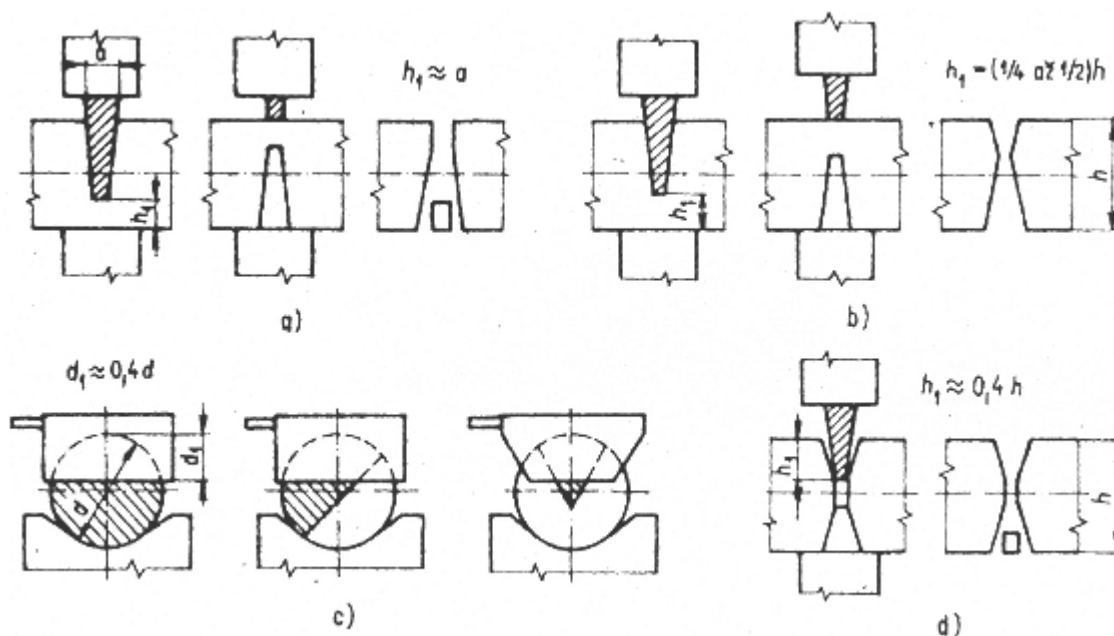
► Popis základních operací volného kování:

a) Prodlužování je nejčastěji používanou operací při kování. Výkovek se prodlužuje, takže při kování se musí obracet, aby nedocházelo k jeho rozšiřování. Hlavním cílem je prodlužovat výkovek a následně zmenšovat jeho průřez (obr. 3).



Obr. 3 Postup úderů při prodlužování čtyřhranu [23].

b) Sekání je operace, při níž dochází k rozdělení materiálu na několik částí nebo se odděluje část materiálu, která může být dále prodlužována, osazována, přesazována atd. Rozlišujeme několik druhů sekání viz. obr. 4.

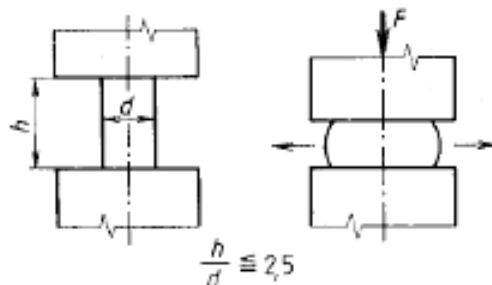


Obr. 4 Základní způsoby kovářského sekání

a) jednostranné, b) oboustranné, c) třístranné, d) čtyřstranné [17].

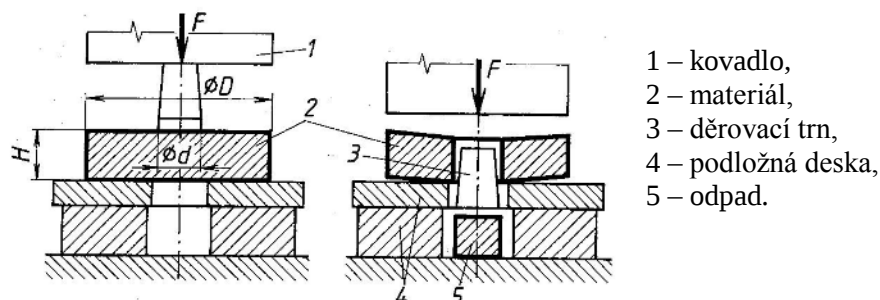
c) Pěchování je operace, při které na materiál působí síla ve směru osy a rozšiřuje jeho průřez, čímž vzniká soudečkovitý tvar. Používá se především u kování kotoučů a jiných

rotačních dílců. Pro bezproblémové kování by neměla délka pěchovaného materiálu přesáhnout 2,5násobek svého průměru, jinak hrozí ohnutí materiálu. K pěchování se využívají desky různých tvarů (obr.5).



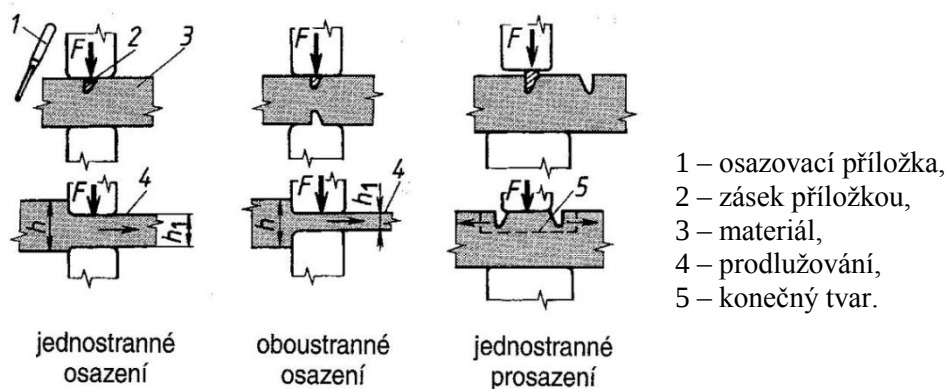
Obr. 5 Pěchování [23].

d) Děrování je operace na děrování polotovárů. Lze děrovat přímo na podložné desce s otvorem. Otvory do průměru 400 mm u vyšších polotovárů se děrují plným děrovacím trnem. Otvory větší než průměr 400 mm se děrují dutým trnem. Schéma děrování je na obr. 6.



Obr. 6 Postup děrování [23].

e) Osazování a přesazování jsou operace zmenšující průřez u osazených hřídelů, prokování jednostranná vybrání, přemísťují průřez při zachování paralelnosti os a další. Tyto operace se provádí tak, že se označí místo, kde se bude průřez měnit nebo přemísťovat a udělá se příložkou zářez. Ukázky typu operací viz obr. 7.



Obr. 7 Osazování a přesazování [8].

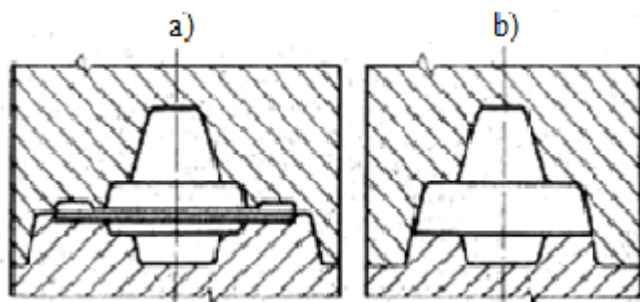
f) Ohýbání je operace, na kterou je použito speciálních přípravků. Při ohybu se na vnitřní straně ohybu vlákna stlačují (tvoření překladů) a na vnější straně ohybu se vlákna natahují (nebezpečí vzniku trhlin) a tím se mění průřez, proto musí být v místě ohybu větší průřez, aby nedošlo k zeslabení materiálu.

1.2 Zápustkové kování [1] [4] [6] [8] [9]

Technologií zápustkového kování se dosahuje podstatně větší přesnosti, než u volného kování. Přesto většinou nedosahuje takové kvality povrchu, jaké jsou od hotové součásti požadovány. Proto se většinou zápustkové výkovky ještě obrábějí. Aby mohli být obrobena na požadovanou přesnost, musí být zvětšeny o přídavky na opracování a o přídavky technologické.

Kove se v dutině zápustky, která svým tvarem odpovídá tvaru vyráběného výkovku nebo předkovku s přídavky. Zahřátý polotovár se vkládá do spodní poloviny zápustky a jeho rozměry jsou zvětšeny o hodnotu smrštění. Výkovek dohotovíme buď úderem na bucharu anebo tlakem na lisu, působením horní zápustky. Pokud kováme s výronkem je zápustka otevřená obr. 8 a), pokud bez něho je uzavřená, obr. 8 b) nebo otevřená. Materiál, který je vytlačen do tvarové mezery mezi horní a spodní zápustkou, se nazývá výronek. V následující operaci je výronek ostřížen.

Pro zápustkové kování je třeba určit, jaký bude použit stroj pro kování polotovaru. Pokud použijeme buchar je výronková drážka uzavřená a je třeba vypočítat rázovou práci, pro kování na lisu je výronková drážka otevřená a je třeba vypočítat kovací sílu.



Obr.8 Zápustkové dutiny a) Otevřená, b) Uzavřená [17].

1.2.1 Tvářecí stroje [9] [17]

Tvářecím strojem pro objemové tváření za tepla je buchar nebo lis. Buchary jsou vhodné pro kování malých a středních sérií, tvarově složitých i nesouměrných a vidlicových výkovků s úzkými žebry. Kove se převážně v otevřených zápustkách. Buchary pracují rázem a výkovek je vždy zhotoven na několik úderů.

Lisy pracují klidným tlakem a jejich zdvih je neměnný. Zásadou u těchto strojů je, že na jeden zdvih je provedena jedna operace v jedné zápustkové dutině. Nevýhodou kování oproti bucharům je, že klidným tlakem okuje neopadávají, přičemž u bucharu vlivem rázu opadávají a výkovky tak mají lepší povrch.

Výhodou lisů je přesnější výkovek. Toho je dosaženo lepším vedením beranu a automatickým vyhazováním výkovků (umožňuje tak volbu menších úkosů).

Typy bucharů:

- Parovzdušné
- Padací
- Protiběžné

Typy lisů:

- Vřetenové
- Svislé kovací lisy
- Vodorovné

1.2.2 Volba tvářecího stroje [9]

Pro zápusťkové kování ozubeného kola o velikosti série 150 000 ks · rok⁻¹, bude zvolen svislý kovací lis. Lis je volen z důvodu rovnoměrného prokování v celém výkovku, protože přetváření probíhá v několika zápusťkách a také s ohledem na velikosti série a přesnost výkovku.



Obr. 9 Příklady zápusťkových výkovků [7].

2 ZÁSADY KONSTRUKCE VÝKOVKU A JEHO NÁVRH [3]

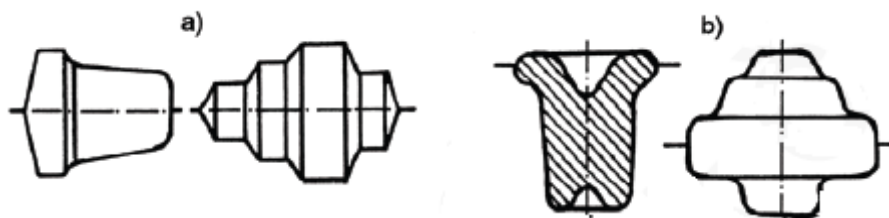
Při návrhu výkovku se vychází z výkresu součásti a je nutné stanovit několik technologických zásad:

- 1) Stanovení dělicí roviny.
- 2) Zařazení výkovku dle složitosti tvaru.
- 3) Přídavky na obrábění
- 4) Stanovení technologických přídavků (*úkosy stěn, minimální tloušťka stěn, přechody a zaoblení hran, tloušťka blány*)
- 5) Určení stupně přesnosti.
- 6) Stanovení přídavků na smrštění.

2.1 Volba dělicí roviny výkovku [9] [16]

Dělicí rovina rozděluje spodní a horní díl zápustky tak, aby bylo možné vyjmout výkovek z dutiny zápustky. Umísťuje do úrovně dvou největších vzájemně kolmých rozměrů nebo do osy souměrnosti výkovku (obr. 10 a). Pokud, ale volba jiné polohy dělicí roviny zaručí zmenšení obvodu výronku za současného zjednodušení ostřížení výronku, používá se dělicí rovina dle (obr. 10 b). Dělicí rovina bývá rovná, lomená a u tvarově složitějších výkovků může být vodorovná, šikmá i kruhová.

Volba dělicí roviny musí zajistit snadné vyjímání výkovku ze zápustky a dokonalé ostřížení výronku. Dále by poloha dělicí roviny měla kladně ovlivnit průběh vláken a tím lepší mechanické vlastnosti. Dělicí rovina se také volí z důvodu kontroly přesazení zápustek.



Obr. 10 Zásady pro volbu dělicí roviny [16]

2.2 Klasifikace a roztřídění výkovků dle složitosti [3] [6] [13]

Před návrhem zápustek pro výrobní stroj (buchar, lis) je potřeba provést návrh výkovku. Výkovky se třídí dle normy ČSN 42 9002, která rozděluje výkovky podle jejich složitosti.

Zápustkové výkovky se označují číselně:

X^{a)} X^{b)} X^{c)} X^{d)} X^{e)}

- a) Tvarový druh
- b) Tvarová třída
- c) Tvarová skupina
- d) Tvarová podskupina (přesah poměrů)
- e) Technologické hledisko

Význam jednotlivých číslic u označení výkovku:

a) Tvarový druh – první číslice (**X** x x x . x)

- 4 výkovky kruhového průřezu plné
- 5 výkovky kruhového průřezu duté
- 6 výkovky hranolovitých tvarů plné i duté
- 7 výkovky s ohnutou osou
- 8 složitých tvarů s přímou dělicí plochou
- 0 výkovky s lomenou dělicí plochou

b) Tvarová třída – druhá číslice (x **X** x x . x)

Výkovky tvarového druhu 4 – 8 se dále dělí podle:

- 1 konstantní průřez
- 2 kuželovité (jehlanovité, klínovité)
- 3 jednostranně osazené
- 4 oboustranně osazené
- 5 osazené s kuzelem (jehlanem, klínem)
- 6 prosazené
- 7 kombinované
- 8 kombinované s kuzelem
- 9 členité (u tvarového druhu 8 – výkovky háků)
- 0 neobsazeno

U tvarového druhu 9 a 0 se výkovky dále rozdělují (x X x x . x)

- 1 převážně kruhový průřez
- 2 převážně plochý průřez
- 3 s hlavou a jedním ramenem
- 4 s hlavou a více rameny
- 5 jednostranně rozvidlené
- 6 oboustranně rozvidlené
- 7 zalomené
- 8 šroubovité (stoupání < 1) – pouze u tvarového druhu 0
- 9 šroubovité (stoupání > 1) – pouze u tvarového druhu 0

c) tvarová skupina – třetí číslice (x x **X** x . x)

Výkovky, které jsou zařazeny do jednotlivých tvarových tříd, jsou čísla 1 až 8 dále tříděny podle stíhlostních a jiných dále u vedených poměrů. Výkovky tvarového druhu 4, 6 a 7 dle technologického hlediska 1, 2 (tzn. s dělicí plochou ve směru hlavní osy souměrné/nesouměrné), jsou děleny na výkovky bez otvoru (označené 1 až 4) a na výkovky s otvorem (označené 5 až 8). Výkovky dle technologického hlediska 3, 4, 5 (tzn. s dělicí plochou kolmo na hlavní osu) a 6, 7, 8 (tzn. výkovky vyrobené na vodorovných lisech), jsou zásadně děleny na výkovky plné (označené 1 až 4) a duté (označené 5 až 8).

Dále se výkovky rozdělují na nízké a vysoké nebo krátké a dlouhé. Potom jsou také

děleny podle různých vzájemných poměrů (výšek, šířek, velikosti úhlů ohybu nebo počtem ohybů, velikostí rozvidlení, počtu zalomení, úhlu polohy jednotlivých ramen zalomených hřídelů a velikosti úhlu natočení listů lopatek.

d) tvarová podskupina – třetí číslice (x x x **X** . x)

- 1 přesah v poměru **L : B (D)** nebo **H : B (D)**
- 2 přesah v poměru **H : H₁ (D : D₁)**
- 3 přesah v poměru **B : B₁**
- 4 přesah v poměru **F : F₁**
- 5 přesah v hloubce dutiny **h : d** nebo úhlu listů lopatek **β**
- 6 přesah v tloušťce dna nebo blány **H₁**
- 7 přesah v tloušťce stěny **s** nebo velikosti rozvidlení **l : b**
- 8 přesah v zaoblení přechodů a hran **R, r**
- 9 kombinace několika přesahů
- 0 bez přesahu

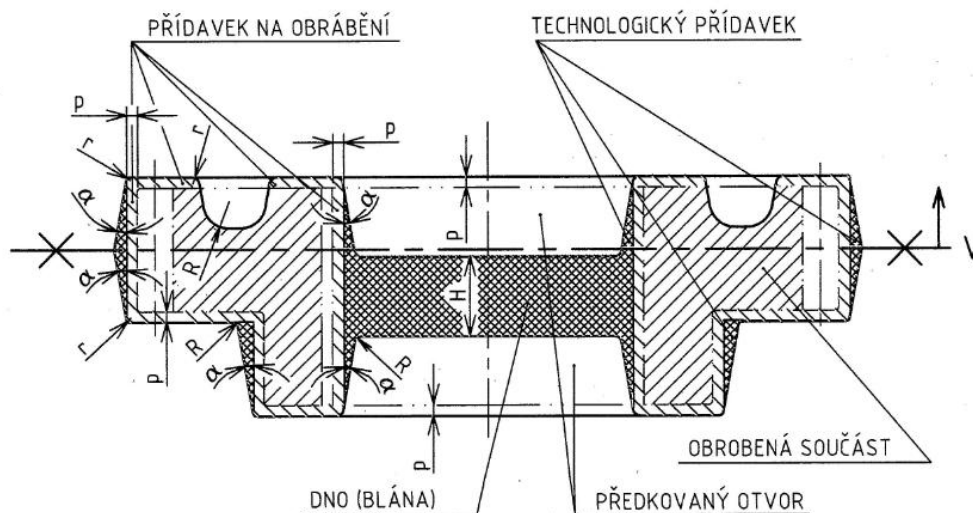
e) technologické hledisko – pátá číslice (x x x x . **X**)

- 1 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy souměrné
- 2 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy nesouměrné
- 3 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu souměrně
- 4 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu nesouměrné
- 5 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu s ozubením
- 6 výkovky na vodorovných kovacíh lisech souměrné
- 7 výkovky na vodorovných kovacíh lisech nesouměrné
- 8 výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech ozubením
- 9 výkovky s více dělicími plochami
- 0 neobsazeno

2.3 Stanovení přídavek [4] [8] [14] [15]

Při výrobě zápusťkových výkovků se jmenovité rozměry zvětšují o přídávky. Ty jsou voleny tak, aby na hotové součásti byl zajištěn požadovaný kvalitní povrch a předepsaná tolerance rozměrů.

Podle normy ČSN 42 9030, přídávky rozdělujeme na: přídávky na obrábění a přídávky technologické, viz. obr. 11.



Obr. 11 Zobrazení přídavek na náčrtu výkresu součásti [15].

2.3.1 Přídávky na obrábění [4] [6] [8] [14]

Přídatek na obrábění je vrstva materiálu, která je obráběna ve formě třísek. Umožňuje odstranění znehodnoceného povrchu, který vzniká u výkovků kovaných za tepla. Jedná se hlavně o okuje, které poměrně zdrsňují povrch.

Okuje jsou částčky zoxidovaného povrchu materiálu, které při tváření odpadávají. Drsnost výkovku je ovlivněna způsobem ohřevu, čištěním okují a kvalitou povrchu zápusťky. Okuje se z povrchu výkovku odstraňují mořením, pískováním nebo otlučáváním

v bubnu. Z důvodu ušetření materiálu se přídávky dávají jen na ty plochy, které jsou obráběny. Při návrhu výkovku jsou voleny přídávky na obrábění viz. tab. 1.

Tab. 1 (1.část) Přídávky na obrábění ploch pro obvyklé provedení [14].

Největší průměr, střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výrobku							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes	do	Přídávky na obrábění ploch							
	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0			
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5		
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5		
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	

Tab. 1 (2.část) Přídavky na obrábění ploch pro obvyklé provedení [14].

Největší průměr, střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výrobku							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes	do	Přídavky na obrábění ploch							
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5
250	400	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0
400	630	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
630	1000	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

Rozměry v mm

2.3.2 Přídavky technologické [4] [6] [14]

Aby výkovek byl dobře vyjímatelný a kov správně vyplňoval dutinu záпустky, je potřeba upravit jeho tvar o technologické přídavky.

Mezi technologické přídavky podle normy ČSN 42 9030 řadíme:

- boční úkosy
- zaoblení hran a přechodů
- tloušťka stěny výkovku
- tloušťka dna výkovku

Boční úkosy:

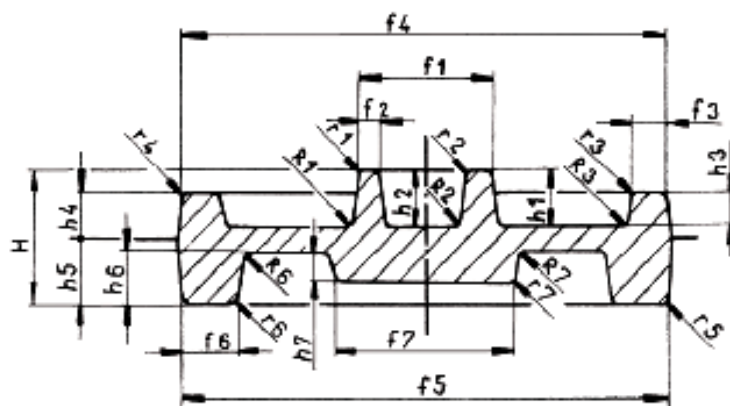
Úkosy nám ulehčují snadnější vyjmutí výkovku ze záпустky. Je třeba zvolit takový úhel úkosu směrem k dělicí rovině, aby odstranil třecí síly a výkovek bylo možno snadno oddělit od dutiny. Toto se týká především bucharu, u kterého se nepoužívají vyhazovače. V důsledku smrštění výkovku rozlišujeme úkosy vnější a vnitřní, kde vnitřní jsou vždy větší než vnější. Velikost úkosů je volena dle tab. 2.

Tab. 2 Boční úkosy [14].

	Vnější	Vnitřní
Záпустkové výkovky se běžně vyrábějí s úkosy	3°	7°
Vzhledem k rozdílné úrovni technologického zařízení výrobců výkovků se dovolují úkosy	7°	10°
- pro buchary a lisy bez vyhazovače		
- lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
- vodorovné kovací stroje	0 až 5°	0 až 5°

Zaoblení hran a přechodů

Poloměry zaoblení na výkovku mají vliv na způsob zatékání materiálu do dutiny a její vyplňování. Dále snižují vrubový účinek v dutině zápustky. Čím větší poloměr zaoblení, tím menší je vrubový účinek. Hodnoty zaoblení hran (**r**) a přechodů (**R**) jsou znázorněny na obr. 12 a uvedeny v tab. 3.



Obr. 12 Zaoblení hran a přechodů [16].

Tab. 3 Zaoblení hran (**r**) a přechodů (**R**) výkovku [14].

Výška (hloubka) h		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		$\frac{h}{f}$ do 2		$\frac{h}{f}$ přes 2 do 4		$\frac{h}{f}$ přes 4	
přes	do	r	R	r	R	r	R
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25
100	160	8	20	8	25	16	40
160	250	12	30	16	45	25	65
250	400	20	50	25	75	40	100
400	630	30	80	40	120	65	150

Rozměry v mm

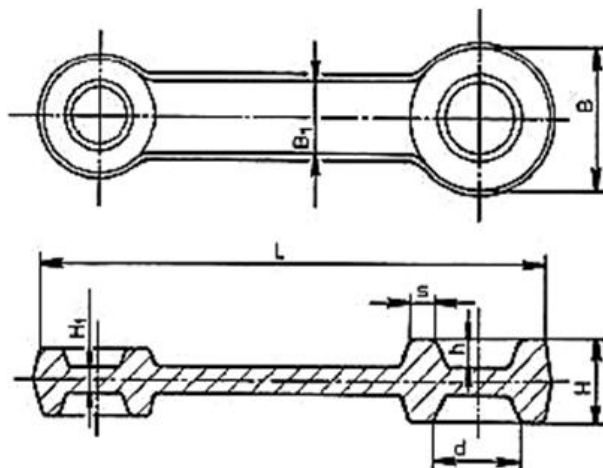
Tloušťka stěny a dna výkovku

Z hlediska životnosti zápustky se kromě minimálních poloměrů zaoblení hran a přechodů, musí zvolit i správná tloušťka dna, stěn a žeber. K tomu nám pomůže tab. 4 a obr. 13.

Tab. 4 Minimální tloušťka stěny s , dna, blány a disku H_1 výkovku [14].

Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu (B, D)		Největší výška výkovku H							
		přes	10	25	40	63	100	160	250
		do 10	25	40	63	100	160	250	400
přes	do	Nejmenší tloušťka dna, disku H_1 a stěny s							
	40	4	5	6	7	9			
40	63	5	5	6	7	9	11		
63	100	5	6	7	9	11	13	15	
100	160	6	7	9	11	13	15	17	20
160	250	8	9	11	13	15	17	20	25
250	400	10	13	15	17	20	25	30	35
400	630			20	25	30	35	40	50
630	1000			25	30	35	40	50	60

Rozměry v mm



Obr. 13 Tloušťky na výkovku [16].

2.4 Tolerance rozměrů a tvarů [3] [6] [8] [14]

Pro volbu toleranci rozměrů a tvarů ocelových výkovků platí norma ČSN 42 9030. Tyto tolerance se dělí na obvyklé, přesné, velmi přesné a podle dohody. Přesnost výroby výkovků se stanoví podle stupně přesnosti z největších rozměrů výkovku ve směru kolmo k rázu a ve směru rázu dle tab. 5. Potom podle tab. 6, 7 se určí mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku a mezní úchytky zaoblení se určí dle tab. 8.

Tab. 5 Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení [14].

Tvarový druh	Tvarová třída	Tvarová skupina	Tvarová podskupina	Technolo gické hledisko	Stupeň přesnosti pro provedení					
					1		2		3	
					obvyklé		přesné		velmi přesné	
					⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥
4; 6; 7	*	1; 5	*	1 až 2	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 6; 7			5	6	4	5	3	4
		4; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5 9	1; 5	*	3; 4; 5	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 4			5	6	4	5	3	4
		6; 7; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9	*	*	6; 7; 8; 9	6	7	5	6	4	5
	6 až 8				7	7	6	6	5	5
8	1 až 8	1; 2; 3; 4	*	*	6	7	5	6	4	5
		5; 6			7	7	6	6	5	5
8	9	1; 2	*	*	6	7	5	6	4	5
		3; 4; 5; 6; 7			7	7	6	6	5	5
9; 0	*	1; 2; 3; 4	*	*	6	6	5	5	4	4
		5; 6; 7; 8			7	7	6	6	5	5

Rozměry v mm

Tab. 6 (1. část) Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku pro stupeň přesnosti: 5 [14].

Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L+B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
do 25	Mezní úchytky	+0,6 -0,3	+0,6 -0,4	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+1,0 -0,4			
	Tolerance	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4			
přes 25 do 40	Mezní úchytky	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6		
	Tolerance	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8		

Rozměry v mm

Tab. 6 (2. část) Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku pro stupeň přesnosti: 5 [14].

Největší průměr výkovku D nebo $0,5*(L+B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes 40 do 63	Mezní úchytky	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,4 -0,6		
	Tolerance	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0		
přes 63 do 100	Mezní úchytky	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,4 -0,6	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	
	Tolerance	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,5	
přes 100 do 160	Mezní úchytky	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,6	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,8 -0,9	
	Tolerance	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,7	
přes 160 do 250	Mezní úchytky	+1,4 -0,6	+1,4 -0,7	+1,5 -0,7	+1,5 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,9	+2,0 -1,0	+2,3 -1,2
	Tolerance	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7	3,0	3,5

Rozměry v mm

Tab. 7 Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku pro stupeň přesnosti: 6 [14].

Největší průměr výkovku D nebo $0,5*(L+B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
do 25	Mezní úchytky	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,1 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,7			
	Tolerance	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1			
přes 25 do 40	Mezní úchytky	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,7	+1,6 -0,7	+1,8 -0,8		
	Tolerance	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6		
přes 40 do 63	Mezní úchytky	+1,4 -0,6	+1,4 -0,7	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,8 -0,8	+1,9 -1,0		
	Tolerance	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	2,9		
přes 63 do 100	Mezní úchytky	+1,6 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,8	+1,9 -0,9	+2,0 -1,0	+2,2 -1,1	+2,5 -1,2	
	Tolerance	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,3	3,7	
přes 100 do 160	Mezní úchytky	+1,9 -0,9	+1,9 -1,0	+2,0 -1,0	+2,1 -1,1	+2,3 -1,1	+2,5 -1,2	+2,7 -1,4	
	Tolerance	2,8	2,9	3,0	3,2	3,4	3,7	4,1	

Rozměry v mm

Tab. 8 Mezní úchytky zaoblení přechodů **R** a hran **r** [14].

Poloměr zaoblení		Mezní úchytky			
přes	do				
	10	+0,50 -0,25	· R	+0,25 -0,50	· r
10	32	+0,40 -0,20		+0,40 -0,20	
32	100	+0,30 -0,15		+0,30 -0,15	
100		+0,25 -0,10		+0,25 -0,10	

Rozměry v mm

Na přesnost výkovku má vliv: - nepřesnost výroby zápustek
 - vliv ohřevu materiálu
 - změna tvaru dutiny zápustky opotřebením nebo deformací během kování
 - ostatní vlivy

- Nepřesnost výroby zápustek

Přesnost zápustek je dána tvarovou složitostí výkovku.

- Vliv ohřevu materiálu

Při ohřevu výkovku dochází ke zvětšení jeho rozměrů. To znamená, že dutiny kovací zápustek se zvětšují o přídavky na smrštění. Smrštění se udává v % a pohybuje se u jednotlivých materiálů dle tab. 9.

Tab. 9 Hodnoty smrštění u jednotlivých materiálů [3].

Běžné oceli	Ložiskové oceli	Austenitické oceli	Mosaz	Slitiny Cu	Slitiny Al
1 až 1,3 %	1,5 %	až 2%	1 až 1,7%	1,4%	0,6 až 1 %

- Změna tvaru dutiny

Změna tvaru opotřebením nebo deformací má největší vliv na nepřesnost rozměrů výkovků. Největší opotřebení je v místech největšího přemísťování materiálu. Nejčastěji se tedy opotřebovávají přechody dutiny do výronku, hrany v místech přechodů do žeber a výstupků aj. Z toho vyplývá, že čím složitější tvar je kován, tím je opotřebení zápustky větší. Opotřebení můžeme snížit co nejpresnějším přiblížením tvaru výchozího materiálu ke konečnému tvaru výkovku nebo také vhodným namazáním dutin zápustek.

- Ostatní vlivy

Mezi ostatní vlivy patří rozměry výchozího polotovaru, druh a přesnost tvářecího stroje. U bucharů je přesnost kování ovlivněna vedením beranu a u mechanických lisů je to tuhost stojanu a vedení beranu.

3 ZPRACOVÁNÍ POLOTOVARU PŘED ZÁPUSTKOVÝM KOVÁNÍM [17]

Nejčastěji používanými polotovary pro výrobu zápusťkových výkovků jsou polotovary zhotovené válcováním za tepla. Patří sem kruhové, čtvercové, ploché tyče, tlustostěnné trubky, dráty aj. Tyto polotovary se dělí na kratší polotovary, jako jsou špalky, špalíky, přířezy. Nejčastěji používanými způsoby dělení jsou řezání, stříhání a lámání.

Dále tyto polotovary ohříváme. Pro ohřev polotovaru u zápusťkového kování se používají plynové, odporové a indukční pece.

3.1 Dělení polotovaru [4] [17]

Polotovary pro zápusťkové kování tj. především tyče, mohou být děleny bez tvorby třísek nebo s třískovým odpadem. Mezi beztřískové způsoby patří stříhání, řezání a lámání a mezi způsoby dělení s třískovým odpadem patří řezání rámovými, kotoučovými pilami a řezání kyslíkem.

- Řezání

Řezání se provádí předně na různých typech pil. Většinou se dělí tyčové polotovary. Polotovary je možno také řezat kyslíko-acetylenovým plamenem, ale ten se vyplatí jen do malosériové výroby, takže pro zápusťkové kování není vhodný.

Řezání na pilách se používá především pro neželezné kovy a slitiny, které nelze dělit stříháním, protože mají malou pevnost, kvůli které dochází ke vzniku otlaků na koncích nastříhaných polotovarů. Nevýhodou řezání je nízká výkonnost a vysoká spotřeba řezných nástrojů, avšak výhodou je nedeformování polotovaru při řezání. Z toho vyplývá, že řezání na pilách se používá pro přesné a velmi přesné zápusťkové výkovky a pro výkovky kované v uzavřených zápusťkách.

- Stříhání

Stříháním se dělí tyčové polotovary působením dvou břitů, které jsou posazeny proti sobě. Jde o nejpoužívanější, nejlevnější, nejvýkonnější a velmi hospodárnou metodu, u které při stříhu nevzniká žádný odpad. Nevýhodou je nižší jakost střížné plochy, na kterou má vliv tvar nožů a vůle mezi nimi. Nejpresnějším druhem stříhání je způsob uzavřeného stříhu.

- Lámání

Jedná se o dělení, před kterým je na polotovaru vytvořen vrub. Působením síly na polotovar vzniká v místě vrubu koncentrace napětí, které způsobuje pokles plasticity, a tím přelomení polotovaru. K výhodám lámání, které se provádí na mechanických nebo hydraulických lisech, patří vysoká produktivita, ale současně nízká jakost lomové plochy.

3.2 Ohřev polotovaru před tvářením [2] [4] [18]

Ohřevem polotovaru na kovací teploty se zvyšuje tvářitelnost a snižuje deformační odpor, což snižuje použitou tvářecí sílu, prodlužuje životnost tvářecích nástrojů a zlepšuje produktivitu tváření. Pro ohřev polotovaru využíváme plynové pece, které se používají pro malosériovou či kusovou výrobu nebo odporové pece vhodné pro barevné kovy a indukční pece, využívající se v sériové výrobě.

Pro zápusťkové kování připadají v úvahu tyto druhy plynových pecí:

- a) Karuselové pece
- b) Talířové pece
- c) Komorové pece
- d) Strkací pece

Karuselové pece

Řadí se mezi pece průchozí a jsou vhodné pro ohřev širokého sortimentu. Zakládací a vyjímající dveře jsou upevněny na vnější stěně blízko sebe. Nístěj pece je otočná a má tvar mezikruží. Lze měnit rychlost průchodu materiálu a tím tedy regulovat dobu ohřevu. Pracovní prostor pece se skládá z předehřívací, ohřívací a vyrovnávací části.

Talířové pece

Patří do řady karuselových pecí. Má i charakter pecí průběžných, protože materiál se v peci postupně posouvá. Teplota v celém pracovním prostoru je konstantní a odpovídá ohřevu na kovací teplotu. Pec má zabudován pouze jeden pracovní otvor pro zakládání a vyjímání materiálu. Nístěj pece je otočná a má tvar plné desky. Výhodou těchto pecí je periodický chod a rovnoměrné rozložení ohřívaného materiálu na nístěji.

Komorové pece

Komorových pecí je veliké množství druhů, které se liší svou konstrukcí a provedením. Aby byl vybrán správný typ pece, musí se zvážit, na co bude daná pec použita, kde bude umístěna, na druhu sortimentu a na druhu kovací technologie. Komorové pece mají ve výbavě měřicí a registrační aparaturu. Nevýhodou těchto pecí je malá tepelná účinnost a ohřev a průchod materiálu není souvislý.

Strkací pece

Řadí se do skupiny pecí průchozích. Pokud se nezmíníme o pecích karuselových, jedná se nejvhodnější typ pece pro ohřev pro zápusťkové kování ve velkých sériích. Strkací pece na rozdíl od karuselových a talířových pecí, mají pevnou nístěj s mechanizovaným průchodem materiálu. Pracovní prostor je složen z předehřívací a ohřívací části. Výhodou těchto pecí je pravidelná rychlost ohřívaného materiálu a využití tepla od odpadních spalin k předehřevu materiálu.

Použití indukční ohřevu

Indukčním ohřevem je materiál velmi rychle ohřát a při ohřevu se tvoří mnohem méně okujů než u pecí palivových. Splňuje kovárenské podmínky požadované na ohřev materiálu

tj. dokonale prohřátí materiálu, přesné dodržení kovací teploty a přesné dodržení doby ohřevu. Tepelné ztráty jsou nepatrné, jelikož ohřívací cívka je skoro studená a teplo je generováno jen ohřívaným materiálem. Při indukčním ohřevu není tak velké oduhličení a oxidace materiálu. Při tomto ohřevu se dle velikosti průměru přířezu, mění frekvence proudů podle tab. 10.

Tab. 10 Vhodné frekvence pro různé průměry přířezů [2].

Frekvence proudu [Hz]	Průměr ocelových přířezů [Hz]
50	200 – 800
600	75 – 280
1000	50 – 150
2000	35 – 120
(4 400) 4000	22 – 70
10000	15 – 35

3.2.1 Opal [4] [17]

Nepříznivým průvodním jevem při ohřevu oceli na kovací teplotu, je opal (okuje). Vzniká v pecní atmosféře okysličujícími plyny na povrchu ohřívaného výkovku. Působením pecní atmosféry, ve které se vyskytuje volný kyslík, oxid uhličitý a vodní pára, vznikají na povrchu výkovku oxidy železa, FeO (oxid železnatý), Fe₃O₄ (magnetit) a Fe₂O₃ (hematit). Oxidace je urychlena neustálým opadáváním okují z povrchu výkovku. To způsobuje rozdíl teplotní roztažnosti okují a základního kovu. Okuje obsahují kolem 70% železa.

Nepříznivé následky okují:

1. Ztráta kovu (1 až 3 % na jeden ohřev).
2. Následkem nalepení okují na pecní nástěj snížení její životnosti.
3. Snížení životnosti tvářecích nástrojů.
4. Možnost znehodnocení výkovku zatlačením okují do jeho povrchu.
5. Nutnost čištění povrchu výkovku.

4 KOVACÍ ZÁPUSTKY PRO LIS [4] [6]

Návrh zápusťky je jedním z důležitých faktorů technologické přípravy výroby. Pro každou operaci musí být zkonstruována jedna zápusťková dutina. Jak už bylo zmíněno, zápusťkové kování je objemové tváření za tepla v jedné nebo více dutinách. Dokončovací dutina má tvar hotového výkovku.

4.1 Předkovací zápusťky [4] [5] [6] [8]

Předkovací dutina má zpravidla velmi podobný tvar hotového výkovku. Tvar předkovku má být takový, aby zakládání do dokončovací dutiny bylo jednoznačné. Proto se předkovací dutina zhotoví užší a hlubší než dokončovací zápusťka.

Tato dutina se konstruuje tak, aby byl předkovek dokován na konečný tvar jen pěchováním. Podmínkou je, aby v předkovací dutině bylo alespoň 3 % přebytku kovu, který má zajistit zaplnění dokončovací dutiny. Výronková drážka bývá v předkovací dutině o 30 – 60 % větší než u dokončovací dutiny, ale ve velkém množství případů se vůbec nepoužívá.

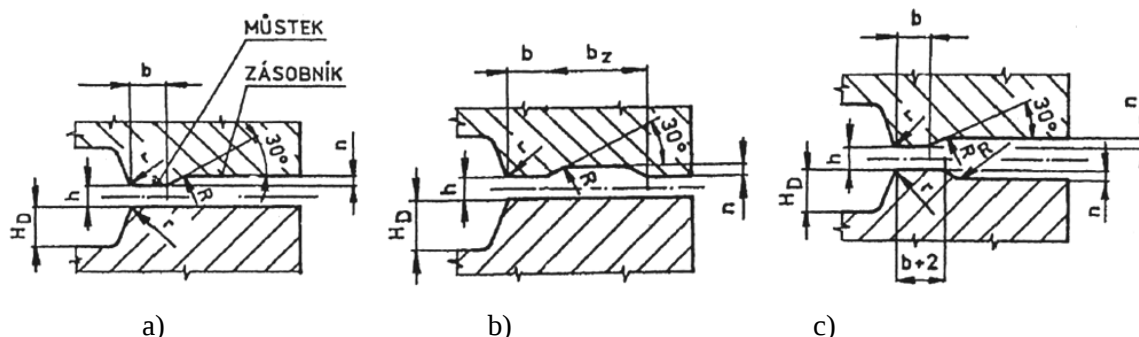
Hlavním důvodem konstrukce předkovací zápusťky je, aby se prodloužila životnost dokončovací zápusťky.

4.2 Dokončovací zápusťky [5] [8]

Při návrhu dokončovací dutiny se vychází z výkresu teplého výkovku (tzn. rozměry výkovku, jsou zvětšeny o smrštění). Velikost smrštění pro vybrané materiály je uvedeno v tab. 9. Úkosity vzhledem k použití lisu s vyhazovačem se volí $3^\circ - 5^\circ$. Výronek při kování na lisu bývá silnější než u bucharu z důvodu většího radiálního tečení kovu.

4.2.1 Tvar a rozměr výronkové drážky [3] [4] [5] [19]

Při dosedání zápusťek na sebe se přebytečný kov vytlačuje do mezery mezi oběma částmi zápusťky, kde kov odchází buď do volného prostoru nebo do výronkové drážky. Výronková drážka se skládá z můstku a zásobníku. Můstek slouží k regulaci tlaku a zásobník k zachycení přebytečného materiálu. Materiál, který je vytlačen do výronkové drážky se nazývá výronek. Dle normy ČSN 22 8306 se využívají tyto tvary drážek, které jsou zobrazeny na obr. 14.

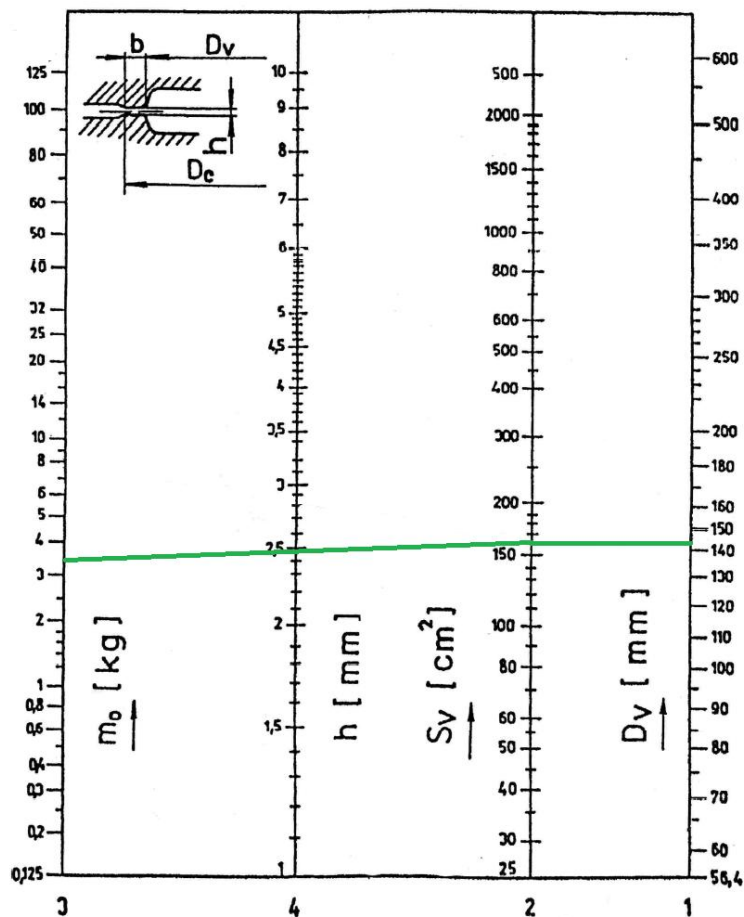


Obr. 14 Používané typy výronkových drážek pro lis.

a) Typ I. Obvyklý, b) Typ II. Když je velká vzdálenost od kraje zápusťky, c) Typ III. Při velkém přebytku materiálu [19].

Volba rozměru výronkové drážky:

Rozměr výronkové drážky h – výška můstku určíme z nomogramu na obr 14 nebo z tab. 11.



Obr. 15 Nomogram [19].

Tab. 11 Rozměry výronkových drážek [19].

Síla lisu (kN)	h	b	b_z	r
2 500	1 až 1,5	3 až 5	25	1 až 1,5
6 300	1 až 2	3 až	25	
10 000	1,5 až 2,5	4 až 7,5	30	
16 000	2 až 3	5 až 8	32	1,5 až 2,5
25 000	2,5 až 4	6 až 10	38	
31 500	2,5 až 4,5	6 až 11	40	2 až 3
40 000	3,5 až 5,5	7 až 12	42	
63 000	4,5 až 8	9 až 15	50	2 až 5

Rozměry v mm

Hloubka zásobníku [19]:

$$n = 0,4h + 2 \text{ [mm]} \quad (1)$$

kde: h [mm] – výška můstku.

Šířka můstku [19]:

$$b = 2 \cdot h \text{ [mm]} \quad (2)$$

Průmět plochy výkovku s můstkem [20]:

$$D_c = D_v + 2 \cdot b \text{ [mm]} \quad (3)$$

kde: D_v [mm] – největší průměr výkovku,
 b [mm] – šířka můstku.

Přechodový poloměr [3]:

$$r = \frac{\sqrt{S_D}}{200} + 0,04H_D \text{ [mm]} \quad (4)$$

kde: S_D [mm²] – průmět plochy výkovku do dělicí roviny,
 H_D [mm] – hloubka dutiny zápusky.

Objem výronku [5]:

$$V_{výr} = o \cdot \left[b \cdot h + \left(n + \frac{h}{2} \right) \cdot B \right] \text{ [mm]} \quad (5)$$

kde: o [mm] – obvod výkovku v dělicí rovině,
 b [mm] – šířka můstku,
 h [mm] – výška můstku,
 n [mm] – výška zásobníku výronku,
 B [mm] – šířka výronku v zásobníku.

Šířka výronku B v zásobníku se volí dle hmotnosti výkovku

- do hmotnosti 0,5 kg, $B = 10$ mm
- do hmotnosti 2 kg, $B = 15$ mm
- nad hmotnost 2 kg, $B = 20$ mm

4.3 Vyhazovače výkovků ze zápustky [5] [19]

Při tváření výkovku zápustkovou dutinou, dochází k jeho ulpívání na funkční části zápustky. To je především ovlivněno hloubkou dutiny, třením, členitostí výkovku, úkosy apod. Podle těchto faktorů se rozhoduje, jaký bude použit typ vyhazovače.

Podle tvaru funkční části vyhazovače, se rozlišují vyhazovače:

- a) prstencové,
- b) kolíkové,
- c) vložkové.

- Prstencové

Prstencové vyhazovače (obr. 16) se používají pro výkovky se zahluobením ve středu výkovku. Pro předkování otvoru ve výkovku se používá předávacího trnu. Dle normy ČSN 22 8306 se stanoví doporučené rozměry trnu a vyhazovače.

Průměr předkovacího trnu [20]:

$$\frac{d_{pt}^2}{D_{pt}^2} \leq 0,85 \quad (6)$$

kde: d_{pt} [mm] – průměr otvoru pro předkovací trn,

D_{pt} [mm] – průměr dosedací části předkovacího trnu.

Průměr prstence [20]:

$$D_p \geq d_p + 5 \text{ [mm]} \quad (7)$$

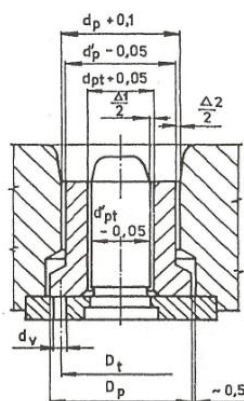
$$D_p \geq D_t + D_v + 5 \text{ [mm]} \quad (8)$$

kde: D_p [mm] – průměr dosedací části prstencového vyhazovače,

d_p [mm] – průměr otvoru pro prstencový vyhazovač,

D_t [mm] – roztečný průměr otvorů pro vyrážecí kolík upínače zápustek,

d_v [mm] – průměr otvoru pro vyrážecí kolík.



Obr. 16 Prstencový vyhazovač [20].

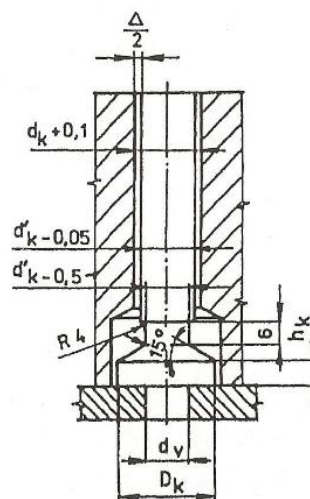
- Kolíkové

Kolíkové vyhazovače (obr. 15) se umísťují do středu, mimo střed nebo jsou umístěny i v ploše výronku, kde působí na blánu, těleso výkovku nebo na výronek.

Tab. 12 Základní řada kolíkových vyhazovačů [20].

Jmenovitý průměr d_k	Vůle ve vedení	Výška hlavy h_k
12	0,2	10
16	0,2	10
25	0,3	15
32	0,3	15
40	0,3	15
50	0,4	20
63	0,4	20
80	0,4	20

Rozměry v mm



Obr. 17 Kolíkový vyhazovač [20].

Průměr hlavy (paty) kolíkového vyhazovače [20]:

$$D_k = \sqrt{d_k^2 + d_v^2} \text{ [mm]} \quad (9)$$

kde: d_k^2 [mm] – průměr otvoru pro vyhazovací kolík,
 d_v [mm] – průměr otvoru pro vyrážecí kolík.

- Vložkové

Ve zvláštních případech lze použít jako vyhazovač vložku – předkovací trn (obr. 16). Vložkové vyhazovače se používají pro výkovky s posunutou blánou do spodní části výkovku. Využívají se, když vyhazovací kolík příliš zeslabuje vložku.

5 PŘÍPRAVA KOVACÍCH ZÁPUSTEK [4] [6]

Na základě zkušenosti v provozu bylo zjištěno, že trvanlivost zápustek je závislá kromě materiálu na zápustky, jejího zpracování, povrchové úpravy, atd., také na způsobu zacházení se zápustkami při jejím používání a technologických podmínkách kování.

Musí být tedy provedena správná volba kovacího stroje a také je důležité jak se zaplňuje zápustka. U jednoduchých tvarů výkovků dochází k zaplňování dutiny přechováním, což znamená, že materiál vyplňuje dutinu bez výrazného přemísťování materiálu a nedochází tak k velkému opotřebení zápustky. U výkovku s členitějším tvarem, kde zápustku nelze zaplnit jen přechováním, ale materiál ještě teče kolem hran a výstupků. Na tato místa působí větší tlak a tím jsou více opotřebený.

5.1 Předehřátí zápustek [4] [6]

Oceli na zápustkové kování mají po tepelném zpracování malou houževnatost. Proto, aby zápustky nepraskaly, je důležité zápustky před tvářením rovnoměrně předehřát na 200 až 300°C. Tento požadavek je tím důležitější, čím tvar zápustky složitější. Předehřívá se před začátkem práce, při přestávkách i při pomalé intenzitě práce.

Zápustky jsou také předehřívány kvůli pomalejšímu poklesu teploty výkovku, což zamezuje vzrůstu pevnosti tvářeného materiálu a tím dochází k menšímu opotřebení zápustky.

Zápustkové dutiny předehříváme několika způsoby. Nejpoužívanějším předehřevem je pomocí ohřátého ocelového bloku. Ohřev zápustky probíhá přímo na kovacím stroji, což znamená určitou výhodu. Nevýhodou je, že ohřev je nerovnoměrný.

Lepší předehřátí zápustky nám umožňuje ohřev na pískovém rošti. Ten je vyhříván plynovými hořáky. Nevýhodou tohoto způsobu je, že zápustka se ohřívá mimo stroj a musí se seřizovat ohřátá.

5.2 Chlazení zápustek [4] [6]

Při dlouhé době styku výkovku se zápustkou, se může povrch zápustky ohřát tak, že může dojít k značnému popuštění a poklesu pevnosti funkční části.

Nejvíce se ohřívá dutina zápustky u poloautomatických a automatických kovacích strojů. V těchto případech je třeba použít chlazení, např. vodou. Častou příčinou nepožadovaného ohřátí bývá volba ohřívacího zařízení a jeho nedostatečná kapacita.

Chlazení většinou musí být upraveno pro každé kování, aby bylo zajištěno chlazení a pravidelné mazání. Protože příliš prudké nebo nerovnoměrné chlazení může způsobit vznik pnutí a samozřejmě i vznik trhlin.

Je potřeba také zvolit čím budeme provádět chlazení. Chladíme stlačeným vzduchem nebo vodní sprchou. Vodou můžeme chladit ty nástroje, které nejsou z vysokolegovaných ocelí nebo u kterých teplota nepřekročí 300°C.

5.3 Maziva pro zápustky [4] [6]

Mazáním zápustek snížíme tření v průběhu kování mezi zápustkou a tvářeným materiálem (sníží se deformační odpor, síla, práce) a usnadníme vyjímání výkovků ze zápustky.

➤ K uvolnění výkovku používáme:

Látky s převážně mazacími účinky zabraňují přímému dotknutí ploch a také snižují přilnavost mezi výkovkem a zápustkou.

Látky s převážně uvolňovacími účinky při dotyku se žhavým materiálem shoří a vytvoří plyny a vodní páru, která uvolní výkovek.

Maziva používaná při zápustkovém kování:

Tuhá maziva

Nejrozšířenějším tuhým mazivem v praxi je grafit. Grafit je má dobré mazací vlastnosti a mimořádnou přilnavost, která je dána jeho krystalickou strukturou. Grafit má také dobrou termickou stabilitu. Používá do teplot 600°C. Nanáší se rozptýlen ve vodě nebo v oleji.

Kapalinná maziva

Jedná se o oleje, které se vypařují při teplotách kolem 200°C. Tato teplota odpovídá bodu vzplanutí olejů. Abychom se vyvarovali vzplanutí oleje, používáme pro mazání oleje emulgované ve vodě a volbou vhodné koncentrace, můžeme dobře regulovat chladicí účinky.

Konzistentní maziva

Nanášení těchto maziv je nevhodné, protože se musejí provádět ručně. Tuhy a mazlavá mýdla mají pod skápnutí kolem 200°C a tak je nanášení na dutinu zápustky snadné. Mazací tuhy však po vypaření nechávají tuhé zbytky, které se mohou zakovat do výkovku. Proto je nutné tyto zbytky odstraňovat.

Piliny

Používají se především k uvolnění výkovků z hlubokých zápustek. Uvolnění umožňují plyny a vodní pára vzniklé hořením pilin.

Soli

Jedná se o roztoky kuchyňské soli, sody, atd., které jsou dosti nevýhodné, protože hodně znečišťují stroj, mají velké korozivní účinky a zanechávají tuhé zbytky v dutině zápustky.

Sklo

Sklo se maže ve formě vaty nebo folií. Nanáší se tak, že se vypaří nosič a na povrchu polotovaru se vytvoří ochranná vrstva, která zabraňuje vzniku okují. Nevýhodou je, že zbytky skla ztuhnou v dutině zápustky a musí se odstranit oklepáním nebo pískováním.

6 DOKONČOVACÍ OPERACE VÝKOVKŮ

6.1 Ostřihování výkovků [4] [17]

Při zápusťkovém kování na lisech, vzniká u výkovku na vnější straně výronek, popř. na vnitřní straně blána. Pro dokončení konečného tvaru výkovku musí být tyto nežádoucí prvky odstraněny. Tuto dokončovací operaci nazýváme ostřihování a děrování. Tyto operace se uskutečňují buďto *za studena* nebo *za tepla* na ostřihovacích lisech.

Za studena ostřiháváme výkovky s obsahem uhlíku do 0,5 %, nad tuto hodnotu jsou ostřihovány za tepla. Výkovky větší a tvarově složitější jsou vždy ostřihovány za tepla z důvodu menších tlaků a také je zde možnost využít teploty pro rovnání výkovku.

6.2 Rovnání a kalibrování výkovků [4] [17]

Při ostřihování výronku dochází u některého výkovku k jejich zkřivení. Výkovky se rovnají za studena, nejčastěji po tepelném zpracování nebo čištění nebo za tepla, kde se zkříví při kování nebo ostřihování. Rovnání probíhá v dokončovací dutině zápusťky nebo na ostřihovacím lisu.

Kalibrace se provádí po dokování zápusťkového výkovku. Je to nejlepší způsob zpřesnění rozměrů výkovku. Touto technologií se zlepšuje povrchová jakost, což někdy nahrazuje další obrábění výkovků.

6.3 Tepelné zpracování výkovků [4] [17]

Už samotné kování má kladný vliv na strukturu a vlastnosti výkovků. Většinou se, ale provádí tepelné zpracování, které celkovou jakost výkovků ještě zlepšuje.

Při tepelném zpracování zápusťkových výkovků se využívá těchto základních způsobů tepelného zpracování:

- Žihání ke snížení pnutí

Používá se ke snížení vnitřního pnutí, která se ve výkovku kumulovala při rovnání, svařování, pálení a ochlazování. Při tomto tepelném zpracování se postupuje takto:

- 1) Výkovek ohřejeme na teplotu 450 až 650 °C (nejlepší způsob je využití tepla výkovku chladnoucího z poslední kovací operace).
- 2) Prodleva na této teplotě po dobu $\frac{d}{25}$, kde d je průměr výkovku (mm).
- 3) Ochlazování v uzavřené peci na teplotu 200 °C.
- 4) Ochlazování v otevřené peci nebo na vzduchu či v písku.

- Žihání normalizační

Provádí se 30 až 50 °C nad rekrystalizační teplotou a obvyklá doba výdrže na teplotě je 5 až 20 min. Toto tepelné zpracování zjemňuje zrna austenitu a vytváří jemnou rovnoměrnou strukturu. Ochlazování musí probíhat jen na klidném vzduchu a výkovky musí chladnout samostatně.

- Žíhání na měkko

Patří mezi dlouhodobé tepelné operace (až 4 hodiny výdrže na žíhací teplotě) a způsobuje přeměnu páskového perlitu v zrnitý perlit a tím zlepší obrobitelnost. Teplota se u většiny oceli volí 650 až 720 °C a poté se pozvolně ochlazuje v peci.

- Zušlechťování

Zušlechťování se skládá z kalení a popouštění. Správného zakalení je dosaženo ohřevem nad teplotu přeměny. Ochlazování probíhá na klidném nebo dmýchaném vzduchu. Po kalení se provádí zmiňované popouštění. Zakalený výkovek se ohřeje na popouštěcí teplotu (teplota je uvedena v materiálových listech pro jednotlivé oceli) a na této teplotě vydrží 0,5 až 2 hod. Poté následuje ochlazení, a to nejčastěji na vzduchu.

7 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY OZUBENÉHO KOLA

Pro výrobu ozubeného kola byla zvolena výroba zápustkovým kovááním na svislém klikovém lisu.

7.1 Zařazení výkovku dle složitosti tvaru [13]

Výkovek řadíme podle normy ČSN 42 9002. Tvar výkovku byl zařazen do následujícího číselného označení – 5310.3

Význam jednotlivých číslic:

- 5 – Tvarový druh (výkovky kruhového průřezu duté)
- 3 – Tvarová třída (výkovky jednostranně osazené)
- 2 – Tvarová skupina (výkovky duté)
- 0 – Tvarová podskupina (bez přesahu)
- 3 – Technologické hledisko (výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu souměrné)

7.2 Návrh výkovku [6] [13]

Při návrhu výkovku vycházíme z výkresu součástí. Tento výkres je hlavním podkladem podle kterého se navrhuje a kontroluje zápustka, výkovky a postup kování.

Při návrhu výkovku je třeba určit polohu dělicí roviny, přídavky na obrábění, zápustkové úkosy, poloměry zaoblení, tvar a tloušťku blány.

- **Poloha dělicí roviny**

Dělicí rovina je umístěna v největším průměru výkovku a je kolmá ke směru působení kovací síly.

- **Přídavky na obrábění**

Přídavky na obrábění jsou navrženy dle **tab. 1**. Podle největšího průměru $D = 136$ mm a největší výšky $H = 31$ mm, je zvolen přídavek na obrábění 2,5 mm.

- **Technologické přídavky**

Boční úkosy

Boční úkosy jsou voleny dle **tab. 2** pro lisy s vyhazovačem, tedy pro vnitřní úkosy je zvolen úhel 3° a pro vnější 5° .

Zaoblení hran a přechodů

Zaoblení hran (r) a přechodů (R) je zvoleno dle **tab. 3**. Zaoblení jsme volili tak, že jsme změřili výšku (hloubku) zahlužení a podělili s odpovídající tloušťkou stěny. Ve všech případech vyšel poměr h/f do 2 a výška (hloubka) do 25 mm. Z toho vyplývá, že je zvoleno zaoblení hran $r = 2$ mm a zaoblení přechodu $R = 6$ mm.

Minimální tloušťka blány

Tloušťka blány byla zvolena dle **tab. 4**. Podle největšího průměru $D = 136 \text{ mm}$ a největší výšky $H = 31 \text{ mm}$, je zvolena tloušťka 9 mm .

- **Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku**

Stupeň přesnosti je volen podle tvarového označení výkovku. Dle **tab. 5** byla zvolena přesnost výkovku u rozměrů kolmých na osu výkovku IT5 a u rozměrů rovnoběžných s osou výkovku IT6.

Hodnoty úchylek IT 5

- Mezní úchytky: horní mezní úchylka $+1,2 \text{ mm}$
dolní mezní úchylka $-0,6 \text{ mm}$
- Tolerance: $1,8 \text{ mm}$

Hodnoty úchylek IT 6

- Mezní úchytky: horní mezní úchylka $+1,9 \text{ mm}$
dolní mezní úchylka $-1,0 \text{ mm}$
- Tolerance: $2,9 \text{ mm}$

Hodnoty úchylek u zaoblení hran r a přechodů R

Tyto hodnoty úchylek byly voleny podle **tab. 6**. Volba velikosti je závislá na velikosti určených zaoblení ($r = 2 \text{ mm}$; $R = 6 \text{ mm}$), kterými danou úchylku vynásobíme. Po vynásobení dostaneme hodnotu úchylek pro hrany $2_{-1}^{+0,5}$ a pro přechody $6_{-1,5}^{+3}$.

7.2.1 Volba výronkové drážky [19]

Podle obr. 13 byl zvolen nejpoužívanější tvar výronkové drážky, typ I. – obvyklý.

- Výpočet výšky můstku h

Výška byla zvolena z nomogramu (obr.14), podle rozměru D_v , S_v a hmotnosti m_o , které byli naměřeny programem Solidworks 2010.

$$D_v = 142,5 \text{ mm}$$

$$S_v = 159,4 \text{ cm}^2$$

$$m_o = 3,7 \text{ kg}$$

Dle těchto určených hodnot byla z nomogramu odečtena výška můstku $h = 2,49 \text{ mm}$.

Bude zvolena výška $h = 2,5 \text{ mm}$.

Hloubka zásobníku:

$$n = 0,4h + 2 = 0,4 \cdot 2,5 + 2 = 3 \text{ mm}$$

Šířka můstku:

$$b = 2 \cdot h = 3 \cdot 2,5 = 5 \text{ mm}$$

Průměr výkovku s můstkem:

$$D_c = D_v + 2 \cdot b = 142,5 + 2 \cdot 5 = 152,5 \text{ mm}$$

Přechodový poloměr:

$$r = \frac{\sqrt{S_D}}{200} + 0,04H_D = \frac{\sqrt{159,4}}{200} + 0,04 \cdot 21,75 = 0,93 \text{ mm}$$

Přechodový poloměr zvolen 1 mm.

7.3 Výchozí polotovár

7.3.1 Určení objemu výkovku [20]

Výkovek byl vymodelován programem Solidworks 2010. Tento program byl použit pro zjištění objemu výkovku obr. 18 a) a výronku obr. 18 b).



a)



b)

Obr. 18 Model a) výkovku a b) výronku

Objem výkovku:

$$V_v = 395\,725,84 \text{ mm}^3$$

Objem výronku:

$$V_{výr} = 60\,938,85 \text{ mm}^3$$

Objem opalu je vypočítán ze vztahu [20]:

$$V_p = (V_v + V_{výr}) \cdot 0,03 [\text{mm}^3] \quad (10)$$

$$V_p = (395\,725,84 + 60\,938,85) \cdot 0,03 = 13\,699,94 \text{ mm}^3$$

Celkový objem výkovku:

$$V_c = V_v + V_{výr} + V_p \text{ [mm}^3\text{]} \quad (11)$$

$$V_c = 395725,84 + 60938,85 + 13699,94 = 470\,364,63 \text{ mm}^3$$

7.3.2 Rozměry polotovaru [20]

Pro rozměrů velikosti polotovaru musí být dodrženo pravidlo přechování, tj. štíhlostní poměr λ , který vyjadřuje poměr délky polotovaru k jeho průřezu. Hodnota štíhlostního poměru se musí vejít do intervalu $\langle 2,8 \div 1,5 \rangle$, jinak by mohlo dojít na počátku přechování k nekontrolovatelnému vybočení do strany.

Štíhlostní poměr [20]:

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = 2,8 \div 1,5 \quad (12)$$

kde: L_0 [mm] – délka polotovaru,
 D_0 [mm] – průměr polotovaru.

Průměr polotovaru [20]:

Pro určení předběžného průměru polotovaru je zvoleno $\lambda = 2$.

$$D_0 = 1,08 \sqrt[3]{\frac{V_c}{\lambda}} \text{ [mm]} \quad (13)$$

kde: V_c [mm³] – celkový objem výkovku.

$$D_0 = 1,08 \sqrt[3]{\frac{470364,63}{2}} = 66,66 \text{ mm} \xrightarrow{\text{zvoleno}} 65 \text{ mm}$$

Délka polotovaru [20]:

$$L_0 = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_0} \text{ [mm]} \quad (14)$$

$$L_0 = \frac{4 \cdot 470364,63}{\pi \cdot 65^2} = 141,82 \text{ mm} \xrightarrow{\text{zvoleno}} 142 \text{ mm}$$

Kontrola štíhlosti polotovaru:

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = 2,8 \div 1,5 \Rightarrow \lambda = \frac{142}{65} = 2,18 \rightarrow \text{je v intervalu } \langle 2,8 \div 1,5 \rangle \Rightarrow \text{vyhovuje.}$$

Hmotnost polotovaru:

$$m_0 = V_0 \cdot \rho \text{ [kg]} \quad (15)$$

kde: V_0 [mm³] – objem polotovaru,

ρ [kg · mm⁻³] – hustota oceli $7,850 \cdot 10^{-6}$ kg · mm⁻³.

$$m_0 = V_0 \cdot \rho = \left(\frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot L_0 \right) \cdot \rho = \left(\frac{\pi \cdot 65^2}{4} \cdot 142 \right) \cdot 7,850 \cdot 10^{-6} = 3,7 \text{ kg}$$

Z vypočtených rozměrů bude zvolen polotovar Ø65 – 142 mm dle ČSN EN 10060.

7.3.3 Ohřívací zařízení [4] [21]

Pro ohřev polotovarů indukčním ohřevem bude zvolen středofrekvenční ohříváč SOP 250/6-A30 P/L/T o výkonu 250 kW. Indukční ohřev se vyznačuje svou pohotovostí, provozní spolehlivostí, jednoduchou obsluhou a stálostí teploty.

7.4 Konstrukce zápustek

7.4.1 Materiál zápustek [4] [17]

Kovací zápustky jsou namáhány mechanicky hlavně u bucharu a tepelně – změnami teplot, kvůli kterým vzniká napětí a následné trhliny. Proto jsou na zápustkovou ocel kladeny tyto požadavky:

- vysoká pevnost a houževnatost,
- dobrá prokalitelnost,
- co nejvyšší popouštěcí teploty,
- vysoká odolnost proti opotřebení otěrem s tvorbě trhlinek,
- dobrá obrobiteľnosť a nízka cena oceli.

Uvedené požadavky nenalezneme u žádného materiálu, ale lze se jím kombinací legujících prvků přiblížit.

Pro zápustkové kování ozubeného kola bude zvolena ocel 19 552 vhodná pro vysoce tepelně namáhané nástroje s velkou houževnatostí.

7.4.2 Rozměry zápustek [19]

Při určování rozměrů se vychází z výkresu teplého výkovku zvětšeného o hodnotu smrštění, z tolerance výkovku a jeho mezních úchylek. Informativní hodnota smrštění pro ocel se pohybuje v rozmezí dle **tab. 9**.

- Mezní úchylky předkovací zápustky

Předkovací zápustka bude navržena bez mezních úchylek, protože se jedná jen o přibližný tvar a tak nebude nijak ovlivněn konečný tvar výkovku.

- Mezní úchylky dokončovací zápustky

Mezní úchytky dokončovací zápustky jsou voleny dle tab. 12.

Tab. 13 Mezní úchytky dokončovací dutiny [19].

Jmenovitý rozměr		Mezní úchytky	
přes	do	kolmo k rázu	ve směru rázu
0	25	0,06	0,07
25	40	0,07	0,1
40	63	0,08	0,12
63	100	0,1	0,15
100	160	0,12	0,2
160	250	0,15	0,25
250	400	0,2	0,3
400	630	0,3	0,45
630	1000	0,4	0,6

Rozměry v mm

Rozměry předkovací zápustky [19]:

$$D_{př} \geq D_D + 0,2 \cdot (D_D + H_D) + 5 \text{ [mm]} \quad (16)$$

$$D \geq 139,5 + 0,2 \cdot (139,5 + 25) + 5 = 177,4 \text{ mm} \xrightarrow{\text{zvoleno}} 200 \text{ mm}$$

Rozměry dokončovací zápustky [19]:

$$D \geq D_D + 0,4 \cdot (D_D + H_D) + 10 \text{ [mm]} \quad (17)$$

$$D_k \geq 144 + 0,4 \cdot (144 + 21,75) + 10 = 220,3 \text{ mm} \xrightarrow{\text{zvoleno}} 230 \text{ mm}$$

kde: D_D [mm] – největší průměr dutiny,

H_D [mm] – hloubka dutiny.

7.5 Výpočet tvářecí síly

Konstrukce vyhazovače [19]:

Pro vyhazování výkovku byl zvolen kolíkový vyhazovač působící na blánu. Vyhazovač bude použit u dokončovací zápustky, kde by mohlo docházet k ulpívání výkovku na stěnách. Rozměry vyhazovače byly zvoleny dle normy ČSN 22 8306.

Dle tab. 12 byly zvoleny tyto hodnoty:

Průměr otvoru pro vyhazovací kolík $d_k = 20 \text{ mm}$,

Vůle ve vedení $v = 0,2 \text{ mm}$

Průměr vyhazovacího kolíku [19]:

$$d'_k = d_k - v \text{ [mm]} \quad (18)$$

$$d'_k = 20 - 0,2 = 19,8 \text{ mm}$$

Průměr hlavy kolíku dle vztahu (9):

$$D_k = \sqrt{2d_k^2 + d_v} \text{ [mm]}$$

$$D_k = \sqrt{2 \cdot 20^2 + 16} = 28,6 \text{ mm}$$

7.6 Velikost kovací síly [19]

Dle normy ČSN 22 8306 byly pro ocel 12 050 (při kovací teplotě 1000 °C) zvoleny tyto hodnoty:

Součinitel $C_0 = 4,5$

Pevnost materiálu za kovací teploty $R_{mT} = 56 \text{ Mpa}$

Přetvárný odpor $\sigma_p = 108 \text{ MPa}$

7.6.1 Výpočet kovací síly podle Rebelského [7]

$$F_k = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_v) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_v}\right)^2 \cdot \sigma_p \cdot S_D \text{ [N]} \quad (19)$$

kde: D_v [mm] – průměr výkovku,

S_D [mm²] - průmět plochy výkovku do dělicí roviny.

$$F_R = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 142,5) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{142,5}\right)^2 \cdot 108 \cdot \frac{\pi \cdot 142,5^2}{4} = 18\,169\,216,61 \text{ N}$$

$$F_R \doteq \mathbf{18,169 \text{ MN}}$$

7.6.2 Výpočet síly podle Tomlenova a ČSN 22 8306 [19] [23]

Rozměry výkovku:

$z_1 = 2,5 \text{ mm}$	$\Delta Z_1 = 12,25 \text{ mm}$	$\text{Ø}D_0 = 152,5 \text{ mm}$	$\Delta r_1 = 5 \text{ mm}$
$z_2 = 27 \text{ mm}$	$\Delta Z_2 = 9 \text{ mm}$	$\text{Ø}D_1 = 142,5 \text{ mm}$	$\Delta r_2 = 17,2 \text{ mm}$
$z_3 = 36 \text{ mm}$	$\Delta Z_3 = 9 \text{ mm}$	$\text{Ø}D_2 = 107,7 \text{ mm}$	$\Delta r_3 = 0,6 \text{ mm}$
$z_4 = 27 \text{ mm}$	$\Delta Z_4 = 18 \text{ mm}$	$\text{Ø}D_3 = 106,4 \text{ mm}$	$\Delta r_4 = 26,9 \text{ mm}$
$z_5 = 9 \text{ mm}$	$\Delta Z_5 = 9 \text{ mm}$	$\text{Ø}D_4 = 52,7 \text{ mm}$	$\Delta r_5 = 26,4 \text{ mm}$

Výpočet přetvárných odporů [19] [23]:

$$\sigma_{d0} = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 \text{ [Mpa]} \quad (20)$$

kde: R_{mT} [MPa] – Pevnost materiálu za kovací teploty,

C_0 [-] – Součinitel snížení plasticity materiálu u výrobku vlivem poklesu teploty.

$$\sigma_{d0} = 1,285 \cdot 56 \cdot 4,5 = 323,82 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d1} = \sigma_{d0} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_1}{z_1} \text{ [MPa]} \quad (21)$$

$$\sigma_{d1} = 323,82 + 56 \cdot 4,5 \cdot \frac{5}{2,5} = 827,82 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d2} = \sigma_{d1} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_2}{z_2} = 827,82 + 56 \cdot 4,5 \cdot \frac{17,2}{27} = 988,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d3} = \sigma_{d2} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_3}{z_3} = 988,35 + 56 \cdot 4,5 \cdot \frac{0,6}{36} = 992,55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d4} = \sigma_{d3} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_4}{z_4} = 992,55 + 56 \cdot 4,5 \cdot \frac{26,9}{27} = 1243,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d5} = \sigma_{d4} + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{\Delta r_5}{z_5} = 1243,62 + 56 \cdot 4,5 \cdot \frac{26,4}{9} = 1982,82 \text{ MPa}$$

Výpočet dílčích ploch pod čarou průběhu přetvárných odporů (tab.13) [23]:

$$S_j = \sigma_{dn} \cdot \Delta r_n \text{ [mm}^2\text{]} \quad (22)$$

$$S_{j+1} = (\sigma_{dn} - \Delta r_n) \cdot \frac{\Delta r_n}{2} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (23)$$

Tab. 14 Výpočet dílčích ploch pod čarou průběhu přetvárných odporů [23].

Plocha	S_j [N·mm ⁻¹]	r_j [mm]	$r_j \cdot S_j$ [N]
I	$S_1 = 332,82 \cdot 5 = 1664,1$	73,6	122 477,76
II	$S_2 = (827,82 - 332,82) \cdot 5/2 = 1237,5$	72,8	90 090
III	$S_3 = 827,82 \cdot 17,2 = 14238,5$	62,5	889 906,25
IV	$S_4 = (988,35 - 827,82) \cdot 17,2/2 = 1380,6$	62,5	86 287,5
V	$S_5 = 988,35 \cdot 0,6 = 593$	53,6	31 785,34
VI	$S_6 = (992,55 - 988,35) \cdot 0,6/2 = 1,26$	53,6	67,54
VII	$S_7 = 992,55 \cdot 26,9 = 26699,6$	39,8	1 062 643,88
VIII	$S_8 = (1243,62 - 992,55) \cdot 26,9/2 = 3376,9$	39,8	134 400,28
IX	$S_7 = 1243,62 \cdot 26,4 = 32831,6$	13,2	43 376,69
X	$S_8 = (1982,82 - 1243,62) \cdot 26,4/2 = 9757,44$	8,8	85865,47
$\sum_{j=1}^n S_j \cdot r_j$			2 549 900,71

Kovací síla působící ve směru pohybu zápustky [24]:

$$F_N = 2\pi \sum_{j=1}^n S_j \cdot r_j = [N] \quad (24)$$

$$F_N = 2\pi \cdot 2\,549\,900,71 = 16\,013\,376,46\,N \doteq 16,013\,MN$$

Síla vznikající od smykových napětí na zkosených stěnách [23]:

$$F_T = \frac{R_{mT}}{2} \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n \Delta S'_j \text{ [MPa]} \quad (25)$$

kde: $\Delta S_j \text{ [mm}^2\text{]}$ – plocha průřezu zkosených stěn.

$$\sum_{j=1}^n \Delta S'_j = \Delta S'_1 + \Delta S'_2 + \Delta S'_3 + \Delta S'_4 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (26)$$

pozn.

$$\Delta S'_1 = \pi \cdot D_1 \cdot \Delta Z_1$$

$$\vdots$$

$$\Delta S'_4 = \pi \cdot D_4 \cdot \Delta Z_4$$

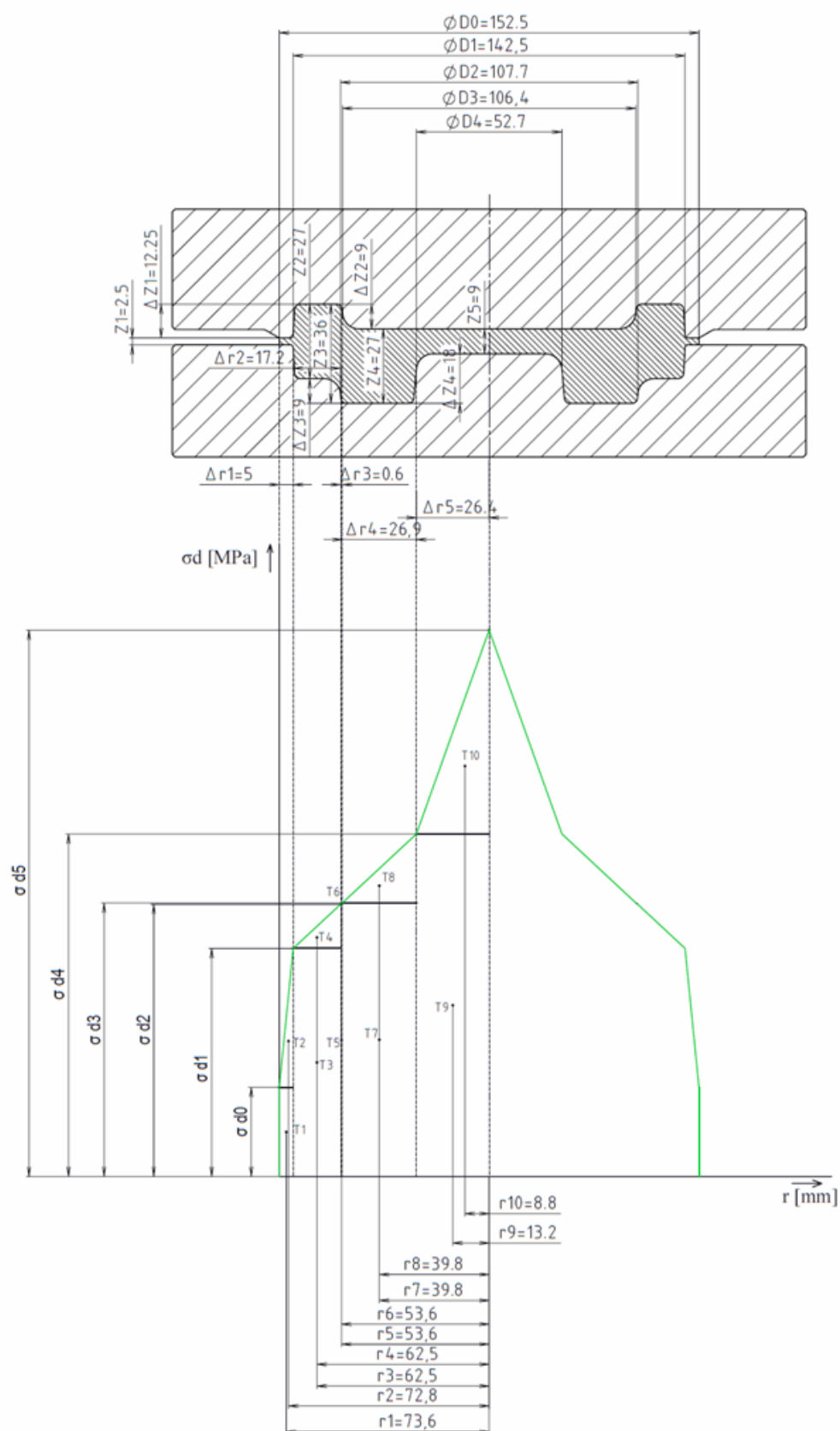
$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \Delta S'_j &= (\pi \cdot 152,5 \cdot 12,25) + (\pi \cdot 142,5 \cdot 17,2) + (\pi \cdot 107,7 \cdot 0,6) + (\pi \cdot 106,4 \cdot 26,9) \\ &+ (\pi \cdot 52,7 \cdot 26,4) = 27120,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$F_T = \frac{R_{mT}}{2} \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n \Delta S'_j = \frac{56}{2} \cdot \pi \cdot 27120,75 = 2\,384\,456,34\,N \doteq 2,384\,MN$$

Výsledná kovací síla [23]:

$$F_{Tom} = F_N + F_T \text{ [N]} \quad (27)$$

$$F_{Tom} = 16\,013\,376,46 + 2\,384\,456,34 = 18\,397\,832,8N \doteq \mathbf{18,398\,MN}$$



Obr. 19 Schéma výkovku a průběh přetvárného odporu [23].
(Měřítko 1:10)

7.7 Volba svislého kovacího lisu [24]

Na základě vypočtené kovací síly byl zvolen svislý kovací lis LMZ 2500 (obr. 20) od firmy Šmeral Brno a.s. Lis disponuje tvářecí silou 25 MN.



Tab. 15 Základní technické parametry [24].

Technické parametry	LMZ 2500	
Jmenovitá tvářecí síla	25	MN
Zdvih	320	mm
Sevření	910	mm
Přestavení beranu	10	mm
Počet zdvihů	70	1/min
Rozměr stolu	1420x1400	mm
Rozměr beranu	1350x1250	mm

Obr. 20 Svislý kovací lis LMZ 2500 [24] [25].

7.8 Výpočet ostříhovací síly

Síla potřebná k ostřížení výronku [3] [20]:

$$F_o = n_v \cdot O_v \cdot h \cdot 0,8 \cdot R_m [N] \quad (28)$$

kde: n_v [-] – koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek (zvoleno 1,3),

O_v [mm] – obvod výkovku v dělicí rovině,

h [mm] – výška můstku,

R_m [MPa] – mez pevnosti oceli 12 050 (1.1191).

$$F_o = 1,3 \cdot 447,45 \cdot 2,5 \cdot 0,8 \cdot 530 = 616\,586,1 \doteq \mathbf{616,6\,kN}$$

Síla potřebná k prostřížení blány [3] [20]:

$$F_p = n_v \cdot O_b \cdot h_b \cdot 0,8 \cdot R_m [N] \quad (29)$$

kde: O_b [mm] – obvod výkovku v místě blány,

h_b [mm] – tloušťka blány.

$$F_p = 1,3 \cdot 167,4 \cdot 9 \cdot 0,8 \cdot 530 = 830\,437,92\,N \doteq \mathbf{830,4\,kN}$$

Celkový ostříhovací síla:

$$F_C = F_o + F_p \text{ [N]} \quad (30)$$

$$F_C = 616586,1 + 830437,92 = 1\,447\,024,02\,N \doteq \mathbf{1\,447,02\,kN}$$

7.8.1 Volba ostříhovacího lisu

Stroj byl zvolen dle vypočtené síly, která byla ještě navýšena o 30 % z důvodu dobré tuhosti stroje.

$$F_{s30} = 1,3 \cdot F_C = 1,3 \cdot 1\,447\,024,02 = 1\,881\,131,22\,N \doteq \mathbf{1\,881,1\,kN}$$

Dle stanovené konečné síly byl vybrán ostříhovací lis LKOA 200 (obr. 21).



Tab. 16 Základní technické parametry [26].

Technické parametry	LKOA 200	
Jmenovitá tvářecí síla	2000	kN
Zdvih	180	mm
Sevření	600	mm
Přestavení beranu	100	mm
Počet zdvihů	55	1/min
Rozměr stolu	1415x1000	mm
Rozměr beranu	1300x800	mm

Obr. 21 Ostříhovací lis LKOA 200 [26].

7.9 Technologický postup zápusťkového kování [23]

Tab. 17 Postupový list [23].

POSTUPOVÝ LIST			
Název výkovku: OZUBENÉ KOLO		Číslo výkresu výkovku: A3 - BP – 2012/002	Číslo výkresu součásti: A3 - BP – 2012/001
Číslo operace:	Název operace:		
1.	Dělení materiálu - řezání		
	Jakost materiálu: 12 050	Profil materiálu: Ø 65 mm	ČSN EN materiálu: 10060
	Stroj: Pásová pila SIRIUS	Délka: 142 mm	Hmotnost přířezu: 3,7 kg
2.	Kontrola přířezu		
	Kontrola hmotnosti a jakosti přířezu s četností 15%		
3.	Kování v kovací lince:		
	A	Indukční ohřev:	
		Stroj: Indukční pec SOP 250/6-A30 P/L/T	Teplota: 1000 ± 20 °C
	B	Kování:	
		Stroj: LMZ 2500	Kovací teplota: 1000 ± 20 °C
		Kovací síla: 18,4 MN	
		1. operace: předkování	
		2. operace: dokování	
	C	Ostříh a děrování	
		Stroj: LKO A 200	Hm. výkovku: 3,7 kg
4.	Tepelné zpracování:		
	Druh: Normalizační žíhání na 530 ÷ 735 MPa		Agregát: Elektrická komorová pec
5.	Kontrola tvrdosti:		
	Požadovaná tvrdost: 60 ÷ 64 HRC		
6.	Otryskání:		
	Stroj: Tryskací zařízení RRB		

8 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V tomto zhodnocení budou porovnány náklady na výrobu ozubeného kola obráběním a zápusťkovým kováním.

Tyto náklady se dělí na:

1) Opakované (závislé)

Tyto náklady jsou vynaloženy na výrobu každého kusu. V jednoduchém případě hodnocení výrobní operace se jedná o náklady na přímé mzdy, přímý materiál, pracovní a režijní náklady.

2) Jednorázové (nezávislé)

Tyto náklady jsou vynaloženy před začátkem výrobního procesu součásti a patří sem např. náklady na speciální nářadí, přípravky, na vypracování výrobní dokumentace aj.

Pro stanovení kalkulace je zapotřebí propočítat tyto položky:

- a) základní materiál,
- b) vratný materiál
- c) mzdy výrobních dělníků,
- d) dílenská režie,
- e) podniková režie,
- f) zvláštní náklady (např. speciální měřidla, přípravky, apod.)

Výpočet pro určené výrobní technologie:

Velikost série: $R_d = 150\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$,
Hmotnost konečného výrobku: $m_c = 1,5 \text{ kg}$,
Cena 1 kg oceli 12 050: $C_m = 24,37 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$,
Výkupní cena vratného odpadu: $C_v = 2 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$.

8.1 Náklady na výrobu obráběním:

a) Náklady na materiál

Rozměr polotovaru: $\varnothing 140 - 34 \text{ mm}$

Hmotnost polotovaru: $m_{po} = 4,12 \text{ kg}$

Náklady na 1 ks:

$$\begin{aligned} N_{m1} &= C_m \cdot m_p [\text{Kč}] \\ N_{m1} &= 24,37 \cdot 4,12 = 100,4 \text{ Kč} \end{aligned} \tag{31}$$

Celkové náklady na materiál:

$$\begin{aligned} N_m &= N_{m1} \cdot R_d [\text{Kč}] \\ N_m &= 100,4 \cdot 150\,000 = 15\,060\,000 \text{ Kč} \end{aligned} \tag{32}$$

b) Mzdy výrobních dělníků:

Výrobní čas jedné součásti: $t_k = 10 \text{ min}$,

Hodinová mzda výrobního dělníka: $m_v = 90 \text{ Kč}$,

Mzdy na 1 ks:

$$M_{v1} = \left(\frac{t_k}{60}\right) \cdot m_v [\text{Kč}] \quad (33)$$

$$M_{v1} = \left(\frac{10}{60}\right) \cdot 90 = 15 \text{ Kč}$$

Celkové mzdy:

$$M_{cv} = M_{v1} \cdot R_d [\text{Kč}] \quad (34)$$

$$M_{cv} = 15 \cdot 150\,000 = 2\,250\,000 \text{ Kč}$$

c) Vratný odpad:

Hmotnost odpadu z 1 ks polotovaru:

$$m_{o1} = m_{po} - m_c [\text{kg}] \quad (35)$$

$$m_{o1} = 4,12 - 1,5 = 2,62 \text{ kg}$$

Hmotnost celkového odpadu:

$$m_{co} = m_{o1} \cdot R_d [\text{kg}] \quad (36)$$

$$m_{co} = 2,62 \cdot 150\,000 = 393\,000 \text{ kg}$$

Cena vratného odpadu:

$$N_o = m_{co} \cdot C_v [\text{Kč}] \quad (37)$$

$$N_o = 393\,000 \cdot 2 = 786\,000 \text{ Kč}$$

d) Dílenská režie:

Třískové obrábění činí 650 % mezd výrobních dělníků:

$$D_r = \left(\frac{650}{100}\right) \cdot M_{cv} [\text{Kč}] \quad (38)$$

$$D_r = \left(\frac{650}{100}\right) \cdot 2\,250\,000 = 14\,625\,000 \text{ Kč}$$

e) Podniková režie:

Činí 200 % mezd výrobních dělníků:

$$P_r = \left(\frac{200}{100}\right) \cdot M_{cv} [\text{Kč}] \quad (39)$$

$$P_r = \left(\frac{200}{100}\right) \cdot 2\,250\,000 = 4\,500\,000 \text{ Kč}$$

f) Zvláštní náklady:

Cena nástrojů: 68 000 Kč

8.2 Náklady na výrobu zápusťkovým kováním

a) Náklady na materiál

Určeno ze vsázkové hmotnosti polotovaru i s opalem:

Hmotnost polotovaru: $m_{pk} = 3,7 \text{ kg}$

Náklady na 1 ks:

$$N_{m1} = C_m \cdot m_p [\text{Kč}]$$

$$N_{m1} = 24,37 \cdot 3,7 = 90,17 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na materiál:

$$N_m = N_{m1} \cdot R_d [\text{Kč}]$$

$$N_m = 90,17 \cdot 150\,000 = 13\,525\,350 \text{ Kč}$$

b) Mzdy výrobních dělníků:

Výrobní čas jedné součásti: $t_k = 5,5 \text{ min}$,

Hodinová mzda výrobního dělníka: $m_v = 90 \text{ Kč}$,

Mzdy na 1 ks:

$$M_{v1} = \left(\frac{t_k}{60}\right) \cdot m_v [\text{Kč}]$$

$$M_{v1} = \left(\frac{4,5}{60}\right) \cdot 90 = 6,75 \text{ Kč}$$

Celkové mzdy:

$$M_{cv} = M_{v1} \cdot R_d [\text{Kč}]$$

$$M_{cv} = 6,75 \cdot 150\,000 = 1\,012\,500 \text{ Kč}$$

c) Vratný odpad:

Hmotnost odpadu z 1 ks polotovaru:

$$m_{o1} = m_{pk} - m_c [\text{kg}]$$

$$m_{o1} = 3,7 - 1,5 = 2,2 \text{ kg}$$

Hmotnost celkového odpadu:

$$m_{co} = m_{o1} \cdot S [kg]$$

$$m_{co} = 2,2 \cdot 150\,000 = 330\,000 \text{ kg}$$

Cena vratného odpadu:

$$N_o = m_{co} \cdot C_v [kg]$$

$$N_o = 330\,000 \cdot 2 = 660\,000 \text{ Kč}$$

d) Dílenská režie:

Pro zápusťkové kování činí 1000 % mezd výrobních dělníků:

$$D_r = \left(\frac{650}{100} \right) \cdot M_{cv} [Kč]$$

$$D_r = \left(\frac{1000}{100} \right) \cdot 1\,012\,500 = 10\,125\,000 \text{ Kč}$$

e) Podniková režie:

Činí 200 % mezd výrobních dělníků:

$$P_r = \left(\frac{200}{100} \right) \cdot M_{cv} [Kč]$$

$$P_r = \left(\frac{200}{100} \right) \cdot 1\,012\,500 = 2\,025\,000 \text{ Kč}$$

f) Zvláštní náklady:

Náklady na zápusťky: 1. operace = 67 000 Kč

2. operace = 425 000 Kč

Náklady na ostříhovací nástroj = 149 000 Kč

Tab. 18 Technologické parametry u porovnávaných technologií.

Technologie	Obrábění	Zápusťkové kování
Počet kusů [ks]	150 000	150 000
Spotřeba materiálu [kg · ks ⁻¹]	4,12	3,7
Hmotnost odpadu [kg · ks ⁻¹]	2,62	2,2
Pracnost [min · ks ⁻¹]	10	5,5

Tab. 19 Porovnání nákladů v Kč.

Položka	Technologie		Úspory zápusťkového kování vůči obrábění
	Obrábění	Zápusťkové kování	
Materiál	15 060 000	13 525 350	1 534 650
Mzdy výr. dělníků	2 250 000	1 012 500	1 237 500
Dílenská režie	14 625 000	10 125 000	4 500 000
Podniková režie	4 500 000	2 025 000	2 475 000
Zvláštní náklady	68 000	641 000	- 573 000
Vratný odpad	- 786 000	- 660 000	- 126 000
Celkové náklady	35 717 000	26 668 850	9 048 150
Náklady na 1 ks	238,1	177,8	60,3

9 ZÁVĚR

Zadáním a předmětem této bakalářské práce bylo zpracování technologie výroby výkovku ozubeného kola s ohledem na cyklické namáhání a potřebu zvýšit jeho mechanické vlastnosti a životnost zápusťkovým kovááním. V úvodní části práce je uvedena teorie objemového tváření, základní operace volného a strojního kováání a především problematika zápusťkového kováání od návrhu výkovku až po tepelné zpracování.

V praktické části je uvedeno zařídění výkovku dle složitosti, stanovení přídavek na obrobení a přídavek technologických a určení stupně přesnosti pro zjištění mezních úchylek a tolerancí rozměrů a volba polohy dělicí roviny. Dále byl zvolen vhodný typ výronkové drážky pro daný typ výkovku. Výchozím polotovarem pro výkovek je přířez o rozměrech $\varnothing 65 - 142$ mm z materiálu 12 050. Daný polotovar je ohříván indukční pecí SOP 250/6-A30 P/L/T od společnosti Roboterm spol.s r.o. Ohřátý polotovar je vkládán do předkovací zápusťky, která je konstruována tak, že horní část zápusťky předkove částečné otvor, za který se výkovek vystředí v dokončovací zápusťce. V dokončovací zápusťce poté proběhne dokováání na konečný tvar. Tyto 2 operace provádí svislý kovací lis o jmenovité tvářecí síle 25 MN od firmy Šmeral Brno a.s. Lis byl volen z důvodu lepšího tečení materiálu ve směru kolmém k působící síle a také z důvodu lepšího vedení beranu a možnosti použití vyhazovačů. Po vyjmutí výkovku ze zápusťky je ostřížen výronek a blána na ostřihovacím lise LKOA 200 taktéž od firmy Šmeral Brno a.s.

V závěru práce je provedeno technicko – ekonomické zhodnocení, kde jsou porovnány 2 výrobní metody a to obrábění a zápusťkové kováání. Vzhledem k velikosti výrobní dávky 150 000 kusů za rok vyšlo jako výhodnější zápusťkové kováání a to tak, že na každé součásti bude ušetřeno 60 Kč.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Technická univerzita Liberec. *Katedra tváření kovů a plastů – Skripta*. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
3. FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT, 2001. 187s. ISBN 80-214-0294-6.
4. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.
5. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
6. BAČA, Josef. *Objemové tváření: zápusťkové kování*. 1. vyd. Bratislava: Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislavě ve vydavatelství STU, 2003. 141 s. ISBN 80-227-2176-X.
7. All-Biz. *Zemědělské stroje, Studénka* [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.cz.all.biz/g18475/>
8. NOVOTNÝ, Karel. *Speciální technologie I*. 2. vyd. Brno: VUT, 1999. 171 s. ISBN 80-214-0404-3.
9. DVOŘÁK, Milan., a kol. *Technologie II*. Brno: VUT, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
10. BEROUN, Stanislav. *Úvod do strojírenství* [online]. 2010 [cit. 2012-05-25]. ISBN není. Dostupné z: http://www.kvm.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/UdS-5pr.pdf
11. NOVOTNÝ, Karel. *Speciální technologie výroby: Část tváření*. Brno: VUT, 2002. 89 s. ISBN 80-214-0401-9.
12. VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály: Studijní opora* [online]. Praha: Vysoká škola chemicko - technologická, 2006 [cit. 2012-05-24]. ISBN 80-7080-600-1. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-600-1/pdf/078.pdf
13. ČSN 42 9002. *Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti tvaru*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 15.7.1968. 36. s. DT 669-134:621.73.043

14. ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápusťkové: Přídavky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 13.10.1986. 22 s. MDT 621.73.043
15. SVOBODA, Pavel. *Základy konstruování*. 3. vyd. Brno: CERM, 2009. 234 s. ISBN 978-80-7204-633-1.
16. ČADA, Radek. *Postupy údržby 1: Studijní opora* [online]. Ostrava: Editační středisko VŠB - TUO, 2007 [cit. 2012-05-24]. ISBN 978-80-248-1506-0. Dostupné z: http://www.strojar.com/upload/ost/postupy_uzrby_1.pdf
17. ELFMARK, Jiří., a kol. *Tváření kovů*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1991, 524 s. ISBN 80-03-00651-1.
18. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Studijní opory pro kombinované studium 1. stupeň, 2. ročník: CTT - K* [online]. Brno, 2006 [cit. 2012-05-24]. ISBN Není. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/kapitola_2.htm
19. ČSN 22 8306. *Zápusťky pro svislé kovací lisý: Technické požadavky na konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 26.11. 1990. 39 s.
20. DRASLÍK, František. *Výpočty z oboru kování a lisování*. Vyd.1. Praha: SNTL, 1972. 192 s. ISBN 04-227-72.
21. Středofrekvenční ohříváč SOP 250/6-A30. *Roboterm spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: http://www.roboterm.cz/ohrivace_i/reference/SOP250_6-A30_PLT_i.htm.
22. HLUCHÝ, Miroslav. *Strojírenská technologie 2*. 2.vyd. Praha: Nakladatelství scientia, 2001. 316 s. ISBN 80-7183-244-8.
23. DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, ŽÁK, Ladislav. *Technologie tváření: Návod do cvičení*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005. 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
24. Šmeral Brno a.s. *Svislé kovací lisý*. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/CZTvarKov.html>.
25. Prato, spol. s.r.o. *Šmeral LMZ 2500* [online]. [cit. 2012-05-27]. Dostupné z: <http://www.prato.cz/cgi-bin/602cgi8/is-prato/web/nabs.htw?lang=0&mn=3&pmn=0&str=2>
26. Šmeral Brno a.s. *Ostříhovací lisý*. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/CZTvarOst.html>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
B	Šířka výronku	[mm]
B ₁	Nejmenší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu	[mm]
C ₀	Součinitel snížení plasticity materiálu u výronku vlivem poklesu teploty	[-]
C _m	Cena 1 kg oceli 12 050	[Kč · kg ⁻¹]
C _v	Výkupní cena vratného odpadu	[Kč · kg ⁻¹]
D ₀	Průměr polotovaru	[mm]
D _c	Průmět výkovku s můstkem	[mm ²]
D _D	Největší průměr dutiny	[mm]
D _k	Průměr dokončovací zápustky	[mm]
D _p	Průměr dosedací části prstencového vyhazovače	[mm]
D _{př}	Průměr předkovací zápustky	[mm]
D _{pt}	Průměr dosedací části předkovacího trnu	[mm]
D _r	Dílenská režie	[Kč]
D _t	Průměr otvorů pro vyrážecí kolík upínače zápustek,	[mm]
D _v	Největší průměr výkovku	[mm]
F _c	Celková ostříhovací síla	[N]
F _N	Kovací síla působící ve směru pohybu zápustky	[N]
F _o	Síla potřebná k ostřížení výronku	[N]
F _p	Síla potřebná k ostřížení blány	[N]
F _R	Kovací síla dle Rebelského	[N]
F _T	Síla vznikající od smykových napětí na zkosených stěnách	[N]
F _{Tom}	Kovací síla dle Tomlenova	[N]
H ₁	Tloušťka disku	[mm]
H _D	Hloubka dutiny zápustky	[mm]
H _V	Výška spodní dutiny zápustky	[mm]
L	Největší délka výkovku	[mm]
L ₀	Délka polotovaru	[mm]
M _{cv}	Celkové mzdy	[Kč]
M _{v1}	Mzdy na jeden kus	[Kč]
N _m	Celkové náklady na materiál	[Kč]
N _{m1}	Náklady na jeden kus	[Kč]
N _o	Cena vratného odpadu	[Kč]
O _b	Obvod výkovku v místě blány	[mm]
O _v	Obvod výkovku v dělicí rovině	[mm]
P _r	Podniková režie	[Kč]
R	Zaoblení přechodů	[mm]
R _d	Velikost série	[ks]
R _{mT}	Pevnost materiálu za kovací teploty	[Mpa]
S	Plocha průmětu výkovku do dělicí roviny zápustky	[mm ²]
S _D	Průmět plochy výkovku do dělicí roviny	[mm ²]
S _j	Dílčí plocha pod čarami přetvárných odporů	[mm ²]

V_0	Objem polotovaru	[mm ³]
V_c	Celkový objem výkovku	[mm ³]
V_p	Objem opalu	[mm ³]
V_v	Objem výkovku	[mm ³]
$V_{výr}$	Objem výronku	[mm ³]
b	Šířka můstku	[mm]
b_z	Šířka zásobníku	[mm]
d	Průměr výkovku	[mm]
d_p	Průměr otvoru pro prstencový vyhazovač	[mm]
d_v	Průměr otvoru pro vyřázeční kolík	[mm]
h	Výška můstku	[mm]
h_b	Tloušťka blány	[mm]
m_0	Hmotnost polotovaru	[kg]
m_c	Hmotnost konečného výrobku	[kg]
m_{co}	Hmotnost celkového odpadu	[kg]
m_{o1}	Hmotnost odpadu z jednoho kusu	[kg]
m_{pk}	Hmotnost polotovaru pro kování	[kg]
m_{po}	Hmotnost polotovaru pro obrábění	[kg]
m_v	Hodinová mzda výrobního dělníka	[Kč]
n	Hloubka zásobníku	[mm]
n_v	Koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek	[-]
o	Obvod výronku	[mm]
r	Přechodový poloměr	[mm]
r	Zaoblení hran	[mm]
s	Tloušťka stěny výkovku	[mm]
t_k	Výrobní čas jedné součásti	[min]
$\Delta S_j'$	Plocha průmětu zkosených stěn	[mm ²]
λ	Štíhlostní poměr	[mm]
ρ	Hustota oceli 7,850·10 ⁻⁶ kg · mm ⁻³	[kg · mm ⁻³]
σ_d, σ_p	Přetvárný odpor	[Mpa]

SEZNAM PŘÍLOH

	Název výkresu	Číslo výkresu
Příloha 1	Ozubené kolo	A3-BP-2012-001
Příloha 2	Ozubené kolo (výkovek)	A3-BP-2012-002
Příloha 3	Ozubené kolo (teplý výkovek)	A3-BP-2012-003
Příloha 4	Předkovací zápustka	A2-BP-2012-004
Příloha 5	Dokončovací zápustka	A2-BP-2012-005
Příloha 6	Kovací nástroj	A2-BP-2012-006

